De mechanisering van het wereldbeeld

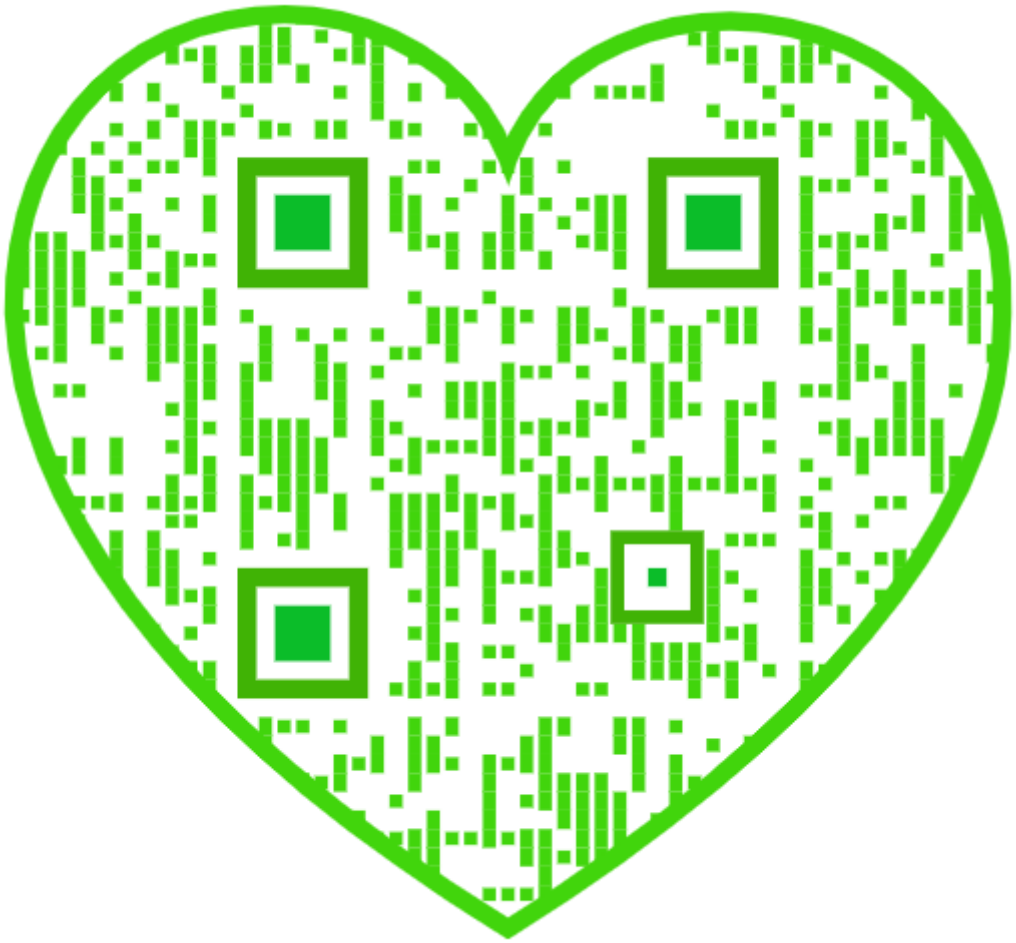
E.J. Dijksterhuis

bron
E.J. Dijksterhuis, De mechanisering van het wereldbeeld. Meulenhoff, Amsterdam 1996 (zevende druk)

Zie voor verantwoording: https://www.dbnl.org/tekst/dijk027mech01_01/colofon.php

Let op: boeken en tijdschriftjaargangen die korter dan 140 jaar geleden verschenen zijn, kunnen auteursrechtelijk beschermd zijn. Welke vormen van gebruik zijn toegestaan voor dit werk of delen ervan, lees je in de gebruiksvoorwaarden.

dbnl digitale bibliotheek voor de Nederlandse letteren



Deel I
Het erfgoed der oudheid

I. Inleiding

1. Onder de talrijke veranderingen die het wetenschappelijk denken over de natuur in den loop der eeuwen heeft ondergaan, is er nauwelijks een aan te wijzen waarvan de uitwerking in de diepte zo sterk en in de breedte zo veelvuldig is geweest als die van de opkomst en de ontwikkeling van de beschouwingswijze die men de mechanische, de mechanistische of de mechanicistische pleegt te noemen.*

Zij is het geweest, die, vooreerst, de methoden van onderzoek en behandeling heeft leren vinden die de physica - en hieronder verstaan we in afwijking van het spraakgebruik de gehele wetenschap der levenloze natuur, dus evengoed chemie en astronomie als natuurkunde in engeren zin - tot den groten bloei hebben gebracht, waarvan wij de vruchten in onzen tijd plukken: het experiment als kenbron, de mathematische formulering als middel van beschrijving, de mathematische deductie als wegwijzer naar nieuwe, door proefneming te controleren verschijnselen. Het waren, vervolgens, haar successen, die de ontwikkeling van de techniek mogelijk hebben gemaakt en die daardoor hebben gevoerd tot de vèrgaande industrialisering, zonder welke het leven der maatschappij reeds sedert lang niet meer denkbaar is. Haar denkwijzen, ten slotte, vonden toegang in het wijsgerig denken over den mens en zijn plaats in de wereld en in tal van vakwetenschappen, die aanvankelijk buiten alle contact met de studie der natuur schenen te staan. Door dit alles is de mechanisering der physica veel meer geworden dan een interne methodische aangelegenheid der natuurwetenschap; het is een zaak die de cultuurgeschiedenis als geheel raakt en die daardoor ook belangstelling verdient buiten den kring der natuuronderzoekers.

Dat de invoering van de mechanistische beschouwingswijze zo diepen vergaande gevolgen voor de gehele samenleving gehad heeft, is een historisch verschijnsel dat tot de meest uiteenlopende waarde-oordelen aanleiding blijkt te kunnen geven: men kan het horen prijzen als een symptoom van een met den tijd geleidelijk voortschrijdende verheldering van het menselijk denken, van het veldwinnen van de enige methode, die op elk gebied van het weten tot betrouwbare resultaten vermag te voeren en waarvan de waarde onaangetast is gebleven, toen de physica in haar moderne ontwikkeling zich genoodzaakt zag, enkele fundamentele beginselen van het klassieke mechanicisme te verloochenen. Anderen, hoewel de grote betekenis erkennend die het voor de bevordering van ons

* Het is moeilijk, een geheel bevredigende terminologie vast te stellen. Mechanisch doet te veel aan werktuiglijk in den zin van gedachteloos denken. Mechanistisch ontmoet als zodanig geen bezwaar maar vereist als corresponderend substantief mechanisme, welke woord echter ook voor de inwendige samenstelling van een werktuig (mechaniek) in gebruik is. Wij geven daarom de voorkeur aan het substantief mechanicisme ter aanduiding van de denkrichting en begaan dan de inconsequentie, daarnaast het adjectief mechanistisch te gebruiken en van mechanisering van het wereldbeeld te spreken.

theoretisch inzicht in en onze practische beheersing van de natuur bezeten heeft, zien er, wat den algemenen invloed op het wijsgerig en wetenschappelijk denken en op de maatschappelijke samenleving betreft, niet veel minder dan een ramp in; zij achten het voor andere wetenschappen allerminst een methodisch ideaal, de werkwijze der physica zo getrouw mogelijk na te bootsen en zij zijn geneigd, in de overheersing van het denken door de mechanistische beschouwingswijze een der hoofdoorzaken te zien van den geestelijken nood waarin de wereld der twintigste eeuw, ondanks allen technischen vooruitgang, is komen te verkeren.

Dit meningsverschil zal ons in de volgende bladzijden niet bezig houden: wij willen uitsluitend nagaan, hoe de mechanistische natuurwetenschap in het aanzijn is gekomen. Dat beduidt geen miskenning van de betekenis der pogingen, haar invloed op denken en samenleving vast te stellen en te beoordelen; het berust alleen op de overweging, dat die vaststelling moeilijk is en die beoordeling weinig waarde kan hebben, zolang men niet steunt op een nauwkeurige kennis van de wijze, waarop het mechanicisme in de natuurwetenschap is gegroeid en op een juist inzicht in de oorzaken waardoor het zulk een machtigen greep op de geesten der natuuronderzoekers heeft kunnen verkrijgen; zo ooit, dan is een historische basis hier wel onmisbaar om overijlde conclusies en emotioneel gekleurde oordeelvellingen te vermijden.

2. We hebben in het bovenstaande de termen ‘mechanisering van het wereldbeeld’ en ‘mechanistische beschouwingswijze’ zonder nadere toelichting en omschrijving gebruikt. Dat geschiedde niet in den waan, dat zij die toelichting en omschrijving niet van node zouden hebben, maar kwam integendeel voort uit de overweging, dat haar betekenis zo vaag omlijnd is en met den tijd zo veranderlijk, dat zij zich tot een korte begripsbepaling in het geheel niet lenen. In zekeren zin is dit gehele boek eigenlijk een poging, de vraag te beantwoorden, in welken zin men van een mechanistisch wereldbeeld kan spreken, of men, dit doende, denkt aan de betekenis werktuig of machine, die de Griekse term μηχανή o.m. bezit, of men dus de wereld, al dan niet met inbegrip van het psychisch leven van den mens, als een machine wil beschouwen, òf dat men er door wil uitdrukken, dat het natuurgebeuren kan worden omschreven met behulp van de begrippen en behandeld met behulp van de methoden van een wetenschap die men, in een gans anderen zin van het woord dan de oorspronkelijke (die door werktuigkunde kan worden weergegeven), mechanica noemt en die in bewegingsleer bestaat. Voorlopig moet dit dus in het midden blijven.

Wanneer men de laatste opvatting aanvaardt, rijst natuurlijk ook nog de vraag, welke mechanica men bedoelt, de antieke, waaraan de namen van Aristoteles en Archimedes verbonden zijn, de klassieke, die men naar Newton noemt of de moderne, die in de twintigste eeuw onder invloed van de relativiteits- en quantentheorie haar intrede heeft gedaan.

De hiermee ingevoerde onderscheiding antiek-klassiek-modern, waarin dus klassiek uitdrukkelijk niet wordt gebruikt in den zin dien men op het oog heeft, wanneer men over de klassieke oudheid spreekt, maar in dien waarin de hedendaagse physici het woord plegen te gebruiken, geldt niet alleen voor de mechanica, maar, mede onder haar invloed, voor de gehele physica. Zij leidt daar tot een indeling van de historische ontwikkeling in drie perioden, die, niettegenstaande de volstrekte geleidelijkheid, welke die ontwikkeling kenmerkt, elk door een scherp bepaald beginjaar zijn aan te geven: de antieke physica begint met Thales van Milete (ca. 600 v. Chr.), de klassieke met de verschijning van Newton's *Principia* in 1687, de moderne in 1900 op den dag, waarop Max Planck het quant-begrip invoerde. En ze stelt ons tevens in staat, de stof die wij in dit boek willen behandelen, nauwkeurig te omschrijven: we stellen vooreerst een bovenste tijdgrens doof de moderne physica geheel buiten beschouwing te laten en drukken die grens verder omlaag door van de klassieke niet den invloed na te gaan dien zij in den loop van haar ontwikkeling tijdens de achttiende en negentiende eeuw heeft uitgeoefend, maar uitsluitend de wordingsgeschiedenis te beschrijven, die tot haar definitieve fundering in het werk van Newton geleid heeft.

Tegenover deze zo scherp bepaalde, immers in het jaar 1687 gefixeerde, bovenste grens kan niet een even scherp aan te geven benedenste gesteld worden of het moest al het jaartal van Thales zijn, waarbij de geschiedschrijving der theoretische natuurwetenschap noodgedwongen wel halt moet houden, omdat we van oudere pogingen, zich denkend van het natuurgebeuren rekenschap te geven, slechts een te fragmentarische kennis bezitten. Men kan namelijk wel zeggen, dat het fundament waarop de klassieke physica gebouwd is, in 1687 voltooid werd, maar men kan onmogelijk aangeven, in welk jaar men met het leggen van dat fundament een begin heeft gemaakt. De klassieke natuurwetenschap is in een geleidelijken overgang uit de antieke voortgekomen en ze heeft, zoals dat in de ontwikkeling van het denken over de natuur altijd gegaan is, verscheidene resultaten die in de voorafgaande periode waren bereikt, niet behoeven te verwerpen of te veronachtzamen, maar na passende omvorming kunnen overnemen. En ze is zich daarbij steeds blijven bewegen op de paden die door de antieke denkers reeds in grote trekken waren aangegeven. Wie haar ontstaan wil begrijpen, komt dus, telkens van gevolg tot oorzaak, van leerling tot leermeester, van volgeling tot voorganger teruggaand, onvermijdelijk bij de Griekse oudheid terecht. Zoals op zovele andere gebieden vormt deze ook hier den waren voedingsbodem voor de Europese cultuur, waarvan de bestudering slechts ten koste van verlies aan inzicht in haar diepste grondslagen verwaarloosd zou kunnen worden.

3. Betekent dit nu, dat wij, om het doel van dit boek te bereiken, terug moeten gaan tot het traditionele begin van iedere geschiedenis der wijs-

begeerte, tot de uitspraken van Thales, dat alles water is en alles vol Goden, om van daar uit het Griekse denken over de natuur in al zijn vertakkingen te vervolgen? Dat zou inderdaad nodig zijn, wanneer het er ons om te doen was, den afgod Volledigheid te dienen. Die dienst is echter even gevaarlijk als schoon en wij willen ons hoeden voor zijn verleidelijk-heden. Dit werk is geen handboek voor wetenschapshistorici: wij dromen ons een algemeen belangstellenden lezer, bij wien we geen speciale wis-en natuurkundige geschooldheid onderstellen en we menen, dat hij meer gebaat zal zijn met een overzicht dat de grote lijnen trekt dan met een behandeling die tot details afdaalt. Wij willen daarom het aandeel dat de Griekse cultuur in het tot stand komen van de natuurwetenschap gehad heeft, slechts in de perspectivische verkorting van het verleden beschouwen; wij vervolgen het Griekse denken niet in zijn eigen historische ontwikkeling, maar vragen naar het geestelijk erfgoed dat Hellas aan Europa achterliet, naar de richtingen die het aan het Europese denken wees.

Dat erfgoed bestaat uit twee delen van verschillenden aard. Vooreerst zijn er de grote fundamentele gedachten van meer wijsgerigen dan vak-wetenschappelijken aard, die, zonder als blijvende resultaten der natuurwetenschap te kunnen worden aangemerkt, haar ontwikkeling vroeger of later, ten goede of ten kwade, hebben beïnvloed en waarvan we de nawerking tot op den huidigen dag kunnen vaststellen; daarnaast de positieve resultaten van de Griekse vakwetenschappen, waarop in latere tijden vaak zonder meer kon worden voortgebouwd en waarbij althans steeds kon worden aangeknoopt. We schetsen eerst in grote lijnen een aantal voor de natuurwetenschap belangrijke denkstromingen, die aan de bronnen der Griekse wijsbegeerte zijn ontsprongen.

II. Hoofdstromingen van het Griekse wijsgerig denken over de natuur[1]

A. Het Pythagoraeïsme

4. Onder dezen term vatten we zowel de leer van den legendairen wijsgeer Pythagoras van Samos en zijn onmiddellijke volgelingen samen als de denkbeelden van latere scholen, die zich als voortzetters van zijn werk beschouwden en zich daarom naar hem noemden (zo de groep rondom Archytas van Tarente, die Aristoteles als de zogenaamde Pythagoraeërs in Italië pleegt aan te duiden) of een herleving van zijn leer beoogden (zo de neo-Pythagoraeërs omstreeks het begin van de Christelijke jaartelling). We doen dus geen poging, de bijdragen vast te stellen die Pythagoras en zijn naaste volgelingen volgens de overlevering tot de wiskunde, de astronomie en de acoustiek zouden hebben geleverd, noch de wijze terug te vinden waarop zij de op hun naam staande resultaten zouden hebben kunnen verkrijgen. Voor ons doel is het voldoende, als gemeenschappelijk kenmerk van al het Pythagoraeïsche denken de overheersende functie te noemen die daarin aan de getallen en hun onderlinge verhoudingen werd toegekend, waarbij onder getallen volgens Grieks mathematisch spraakgebruik uitsluitend natuurlijke getallen worden verstaan. Getalverhoudingen dienden vooreerst om kenmerkende relaties uit te drukken, die in natuurverschijnselen waren opgemerkt: het klassieke voorbeeld is de karakterisering van de consonante intervallen octaaf, quint en quart door de verhoudingen 2:1, 3:2 en 4:3, waarbij in het midden kan worden gelaten, welke precies de natuurkundige grootheden zijn, die zich zo verhouden (pijplengten, snaarlengten of trillingsfrequenties) en dus ook, of de hoogste toon van de twee die zulk een interval vormen, met den grootsten of niet den kleinsten term van de verhouding correspondeert. Getallen oefenden verder hun functie uit in den opbouw der meetkunde, waar ze als aantallen van in geometrische patronen geordende punten werden beschouwd en waar ze gebruikt werden om de lengteverhoudingen van lijnstukken uit te drukken, totdat de verbijsterende ontdekking van het bestaan van paren lijnstukken waarvan de lengten zich niet als getallen verhouden, de Griekse wiskundigen dwong, in de leer der verhoudingen een nieuwen weg in te slaan. En van de stoffelijke lichamen, die het voorwerp zijn van onze zinlijke ervaring, scheen het wezen te kunnen worden uitgedrukt door meetkundige, op hun beurt door getallen geordende en bepaalde vormen, zodat ook hiervoor het getal als de diepste oorzaak, de oorsprong van het zijn, scheen te moeten worden beschouwd. Deze overtuiging bleek verder vatbaar te zijn voor uitbreiding op psychische toestanden, op morele qualiteiten en op menselijke relaties, zodat Aristoteles ten slotte de gehele Pythagoraeïsche leer kon samenvatten in de paradoxale uitspraak: De dingen zijn getallen[2].

5. In deze opvatting ligt vooreerst de bron van de stroming die later het mathematicisme in de natuurwetenschap genoemd zou worden, van de mening, dat het uiteindelijk doel der physica daarin bestaat, dat de natuur moet worden afgebeeld op een stelsel van mathematische entiteiten en hun onderlinge betrekkingen en dat daardoor alles wordt uitgedrukt wat de mens van haar te weten kan komen. Bovendien heeft ze echter geleid tot het ontstaan van een getallenmystiek, die zich vermeide in abstracte speculaties over getallen, waarin alle verband met de natuurwetenschap losgelaten scheen te zijn, totdat ze een enkelen keer - we zullen er een treffend voorbeeld van leren kennen (IV: 26, 59) - toch weer inspirerend op het natuuronderzoek bleek te kunnen werken.

Door de ordenende en bepalende werking van het getal op den voorgrond te plaatsen, gaf het Pythagoraeïsme tevens een sterken steun aan de door andere Griekse denkers reeds vaag voorvoelde conceptie van den kosmos in den zin van ordelijk en daardoor schoon bestel van het physisch heelal. Opnieuw bewaart Aristoteles de praegnante formulering: de gehele hemel is harmonie en getal[3]; d.w.z. de kennelijke orde, die de bewegingen der hemellichten vertonen en waarin voor het Grieks aesthetisch voelen als zodanig reeds een element van schoonheid besloten ligt, kan worden omschreven door getalverhoudingen en wordt daardoor samen met acoustische welluidendheid onder het begrip harmonie gebracht; de harmonie der spheren behoeft daarom ook niet hoorbaar te zijn; het geestesoog neemt hier de plaats in die het oor in de muziek bekleedt.

Zo groot de betekenis van het Pythagoraeïsme geweest is voor het vestigen van het nauwe verband tussen physica en mathesis, dat een der twee wortels van de klassieke natuurwetenschap zou worden, zo gering is ze voor de bevordering van het inzicht in het belang van een bewust empirisch onderzoek, waarin de andere wortel zou blijken te liggen. Wanneer in de objecten der onopzettelijk verworven zinlijke ervaring eenmaal zekere mathematische relaties zijn opgemerkt, wordt de band met de physische realiteit verbroken en trekt het denken zich terug in de sfeer van het ideële. Daarom past het zo goed in zijn beeld, dat Pythagoras door de latere Griekse wiskundigen wordt geroemd als de schepper der zuivere mathesis, van het zuiver geestelijk bedrijf waarin het wiskundig denken zich van alle belemmeringen van de empirische werkelijkheid heeft bevrijd. Ongetwijfeld komt in het rationalisme, waarvan deze opvatting blijk geeft, evenals in het daarmee nauw verwante mysticisme, dat in de Pythagoraeïsche school tot zo rijken bloei kwam, het religieus-zedelijk karakter van de leer tot uiting. Het zuivere weten, waarin de onvolkomenheden der zinlijke wereld zijn afgeschud of tot volkomenheden geïdealiseerd, bevat een element van wereldvlucht en ascese; gericht als het is op het onstoffelijke beduidt het een κάϑαρσις (reiniging) van de ziel, een bevrijding uit de banden der zinlijkheid.

B. Het Eleatisme[4]

6. Deze denkrichting, die haar voornaamsten vertegenwoordiger vindt in Parmenides, wordt gekenmerkt door de overtuiging, dat alle verandering die we in de wereld waarnemen, slechts een onwezenlijke schijn is, dien de zinnen ons voorspiegelen; het waarlijk zijnde mist alle eigenschappen die we op grond van de ervaring zo geredelijk aan de dingen toekennen: ontstaan; verandering in aard, grootte of plaats; vergaan; veelheid en verscheidenheid; het is ongeworden, verandert niet en gaat niet te loor; het is een en ondeelbaar.

Het lijkt vrijwel ondenkbaar, dat van een wijsbegeerte die zo radicaal de realiteit der empirische wereld ontkende, ooit enige inspirerende invloed zou zijn uitgegaan op een wetenschap die deze wereld juist tot object van onderzoek maakt; toch heeft ze dien op meer dan een wijze uitgeoefend; we zullen er dadelijk een voorbeeld van leren kennen, maar we kunnen daarnaast reeds thans vermoeden, waar haar geest zich later bemerkbaar zal maken: in het hartstochtelijk streven van de klassieke physica om overal achter de veranderlijkheid der verschijnselen het onveranderlijk blijvende op te sporen, in haar verlangen om aan te tonen, dat, waar het onbevangen denken ontstaan en vergaan meent te kunnen vaststellen, in zekeren zin toch niets veranderd is, dat er behoudswetten heersen voor materie, voor impuls, voor energie en dat iedere ware causale verklaring een herleiding tot identiteit beduidt.

De sterke invloed dien de Eleatische overtuiging van de onveranderlijkheid van het zijnde op het Griekse denken heeft uitgeoefend, komt echter reeds dadelijk tot uiting in:

C. De Griekse corpusculairtheorieën[5]

7. Voor een natuurwetenschap die iets meer wilde doen dan alle veranderingen die we in de natuur waarnemen, het ontstaan van nieuwe lichamen, het te loor gaan van bestaande en iedere, hetzij qualitatieve, hetzij quantitatieve, wijziging tot bloten schijn te verklaren en daarmee uit den kring der philosophische reflectie te verbannen, moest het Eleatis-me in zijn zuiveren vorm, waarin het zowel de eenheid als de onveranderlijkheid van het zijnde postuleerde, onaanvaardbaar zijn. Aan den anderen kant schijnt het Griekse denken zich in het algemeen toch veel meer aangetrokken te hebben gevoeld tot het denkbeeld, dat aan alle waargenomen verandering iets blijvends ten grondslag ligt en dat dit de eigenlijke werkelijkheid vertegenwoordigt dan tot de tegenovergestelde zienswijze van Herakleitos, die juist het worden, veranderen en vergaan als de ware realiteit wilde beschouwen. Wanneer men echter de onveranderlijkheid van het zijnde wilde handhaven, moest men noodzakelijk de eenheid,

hetzij in qualitatieven, hetzij in quantitatieven zin, opgeven en dit is dan ook door verschillende denkers die overigens de Eleatische traditie voortzetten, gedaan.

Vooreerst door Empedokles, op wiens naam de fundering van de voor de geschiedenis der physica zo uitermate belangrijke leer der vier elementen staat. Dit zijn vier onderling qualitatief verschillende grondstoffen, waaruit alle stoffen die de ervaring ons leert kennen, samengesteld worden gedacht; zij dragen de namen van vier stoffen, waaraan de kenmerkende verschillen die de lichamen kunnen vertonen, het allerduidelijkst opvallen: van de vaste aarde, het vloeibare water, de gasvormige lucht en het gloeiende, verterende vuur; waarmee echter niet gezegd is, dat de grondstoffen zich hierin in zuiveren vorm zouden vertonen. Zeer waarschijnlijk heeft Empedokles ook aangenomen, dat deze vier elementen voorkomen als onwaarneembaar kleine deeltjes en dat nu alle in de natuur waargenomen veranderingen in wezen bestaan uit het samenkomen, het uiteengaan en de bewegingen van deze elementpartikels onder invloed van de krachten Φιλία (liefde) en Νεῖκος (haat).

We ontmoeten hier een eerste voorbeeld van wat men een corpusculair-theorie der materie kan noemen; het wezenlijke kenmerk daarvan is de onderstelling, dat alle processen in de levenloze natuur in feite worden geconstitueerd door beweging van onwaarneembaar kleine, bij alle processen reëel en qualitatief onveranderd voortbestaande lichaampjes (corpuscula of partikels). Door het gebruik van het woord corpusculairtheorie wordt dus nog niets beslist over de vraag, of die corpuscula onderling al dan niet qualitatief verschillen, of zij in het eerste geval een eindige of een oneindige verscheidenheid vertonen en of gelijksoortige corpuscula ook noodzakelijk quantitatief gelijk zijn; er wordt ook niet gezegd, of zij al dan niet vatbaar zijn voor verdergaande verdeling en evenmin of en, zo ja, op welke wijze zij elkanders toestand kunnen beïnvloeden.

Een tweede voorbeeld van een corpusculairtheorie, die op al deze bij de bepaling van het begrip in het midden gelaten vragen een gans ander antwoord geeft dan Empedokles, heeft men in de theorie van de homoiomeren van Anaxagoras, waarin een onbegrensde verscheidenheid van qualitatief verschillende grondstoffen wordt aangenomen, die verdeeld zijn in corpuscula die zelf weer onbeperkt verder deelbaar worden gedacht.

8. Een derden vorm en wel een waarvan op den duur een zeer belangrijke invloed op de ontwikkeling der natuurwetenschap zou uitgaan, ontmoeten we in de door Leukippos en Demokritos opgestelde atoomtheorie. Deze theorie blijft in zoverre meer getrouw aan de Eleatische grondgedachte dan de twee bovengenoemde, dat zij de qualitatieve eenheid van het zijnde handhaaft en slechts de quantitatieve opoffert. De atomisten breken als het ware den zijnsbol van Parmenides in kleine stukjes en zij verstrooien deze zijnsfragmenten in wat de Eleaten het

niet-zijnde hadden genoemd, de lege ruimte. Aan dat niet-zijnde kennen ze dus een eigen zijn toe, terwijl de fragmenten van wat eens dit praedicaat bij uitsluiting had gedragen, in het bezit worden gelaten van het kenmerk der qualitatieve eenvormigheid en onveranderlijkheid, dat in het beeld van Parmenides aan het geheel toekwam; daarbij hebben ze nu echter de beweeglijkheid verworven. Ze hebben overigens geen andere hoedanigheden dan de ruimtelijke uitgebreidheid en de daarmee onverbrekelijk verbonden gedachte ondoordringbaarheid; het zijn brokstukken van eenzelfde niet nader te bepalen zijnde, dat men een oermaterie zou kunnen noemen en ze verschillen onderling alleen in gedaante en in grootte.

Van de verschillende namen waarmee deze corpuscula aanvankelijk werden aangeduid, heeft zich op den duur alleen de term atoom gehandhaafd en deze drukt er ook inderdaad wel een kenmerkende eigenschap van uit; een andere even karakteristieke, namelijk de qualitatieve gelijkheid van alle atomen duidt ze echter evenmin aan als het algemene kenmerk van alle corpuscula, dat in de intrinsieke onveranderlijkheid bestaat.

Evenals bij Empedokles worden nu alle substantiële of qualitatieve veranderingen die we de physische lichamen zien ondergaan, teruggebracht tot bewegingen van de aangenomen corpuscula, terwijl alle qualitatieve verschillen die de stoffen onderling vertonen, worden toegeschreven aan verschillen in gedaante, grootte, ligging, rangschikking en bewegingstoestand der atomen. De elementen van Empedokles verliezen hier dus hun fundamenteel karakter; ook hun eigenschappen zijn het gevolg van bepaalde atoomconfiguraties.

Van eeuwigheid her in beweging verkerend in de oneindige lege ruimte vormen de atomen hier door processen die niet door alle atomisten op dezelfde wijze worden beschreven, wervelende conglomeraten, die tot werelden uitdijen. Deze werelden ontstaan in oneindig aantal naast en na elkander en ze zullen elk te zijner tijd weer uiteenvallen in hun bestanddelen.

9. Het loont de moeite, thans een ogenblik stil te staan bij de grandiose onbekommerdheid waarmee de Griekse atomisten, steunend op een minimale kennis der natuurverschijnselen, een dergelijk alomvattend wereldbeeld durfden opstellen en bij de zorgeloosheid waarmee ze feiten die er niet in pasten, buiten beschouwing lieten. Het motief dat hen dreef is wel duidelijk: beweging van lichamen die, terwijl we ze gadeslaan, niet merkbaar veranderen is een dagelijks waar te nemen verschijnsel en we merken op, dat daardoor zekere veranderingen in onze omgeving worden teweeggebracht; van andere veranderingen, die we als ontstaan, vergaan en wijziging van aard of hoedanigheid ervaren, zien we de oorzaak niet; het ligt voor de hand de behoefte aan causale verklaring te bevredigen door te onderstellen, dat in een mikrowereld bewegingen van

onwaarneembare onveranderlijke lichaampjes plaats hebben, die die oorzaak vormen. Men kan de gedachte primitief noemen, maar ze was tot een ongeëvenaard succes in de physica geroepen en ze drukt waarschijnlijk dus wel een essentiële eigenschap van de stoffelijke dingen uit.

Natuurlijk moet men wel in het oog houden, dat het atoombegrip in den loop der eeuwen ingrijpende veranderingen zou ondergaan: wat in de moderne physica een atoom heet, heeft met het Demokritische atoom niet veel meer dan den naam gemeen en de verwachting, dat de bestanddelen, waaruit het is opgebouwd, zich toch weer als atomen in den oorspronkelijken zin van het woord zouden onthullen, is door de ontwikkeling der nieuwere natuurkunde niet bevestigd. Meer overeenstemming bestaat er met de atoomtheorie der klassieke physica, waaraàn de naam van Dalton verbonden is, maar ook hier zijn de punten van verschil talrijker dan die van gelijkenis: de qualitatieve verscheidenheid tussen de atomen van verschillende elementen, die Dalton aanneemt, is Empedokleïsch en niet Demokritisch; de quantitatieve gelijkheid van atomen van eenzelfde element vindt geen corresponderenden trek in het Demokritische beeld en alleen de ondeelbaarheid blijkt een gemeenschappelijk kenmerk te zijn. Een typerend verschil is nog, dat de atomen van Dalton voor ieder element de kleinst mogelijke hoeveelheid vertegenwoordigen en dat dus bij hem atomen inderdaad kleinste deeltjes zijn. Bij Demokritos zijn ze dat op geen enkele wijze: daar er namelijk geen reden is om aan te nemen, dat de verscheidenheid in grootte naar beneden toe beperkt zou zijn (naar boven stelt de eis van visuele onwaarneembaarheid een grens) komen naast ieder atoom kleinere voor, zodat van een kleinste deeltje der oermaterie niet gesproken kan worden.

10. De atoomtheorie van Demokritos was natuurlijk in staat, van verscheidene physische verschijnselen een aannemelijke verklaring te geven: ze maakte de verschillen in soortelijk gewicht tussen verschillende stoffen begrijpelijk door de onderstelling, dat een stof des te grotere dichtheid heeft, naarmate er tussen de atomen minder kleine vacua voorkomen; ze kon op soortgelijke wijze van verschillen in hardheid en in deelbaarheid rekenschap geven en veranderingen in aggregatietoestand verklaren. Echter stond ze machteloos tegenover de vraag, door welke oorzaak eigenlijk de atomen lichamen vormen inplaats van los door elkaar heen in de ruimte te blijven zweven en ze schoot ten enenmale te kort, waar het er om ging, die eigenschappen der lichamen te begrijpen die later de secondaire qualiteiten zouden heten: kleur, smaak, reuk, klank, warmte, koude en derg. Men kon door de onderstelling van onwaarneembaar kleine deeltjes van verschillende gedaante die allerlei liggingen kunnen aannemen en allerlei bewegingen kunnen uitvoeren, wel verschijnselen verklaren die zelf uit gedaante, ligging en bewegingstoestand van waarneembare lichamen bestaan maar het was uiteraard onmogelijk te begrijpen, hoe uit gedaante, ligging en beweging van corpuscula de gewaar-

wordingen van een rode kleur, een zoeten smaak, een aangenamen geur, een welluidenden klank kunnen ontstaan. Ten hoogste kon men een wederzijdse toevoeging tussen gewaarwordingen en atomaire processen postuleren (b.v. de gewaarwording warmte veroorzaakt denken door snelle bewegingen van een bepaald soort atomen), maar de natuurwetenschap verloochende daardoor de verklaringsbehoefte van het begin af meer dan dat ze haar bevredigde.

Men kan uit sommige uitlatingen van Demokritos wel opmaken, welk standpunt hij ten aanzien van de secondaire qualiteiten heeft ingenomen. Daar de ervaring leert, dat zij niet alleen afhangen van de lichamen die geacht worden ze door een stoffelijke uitzending teweeg te brengen, maar tevens van den toestand waarin de waarnemer verkeert (dezelfde spijs smaakt den gezonde zoet, denzieke bitter), lag het voor de hand, er objectieve realiteit aan te ontzeggen. Zodra echter een waarneming een subjectief karakter blijkt te vertonen, is dat voor een Grieks voor-Socratisch denker al spoedig een voldoende aanleiding er niet langer een waarheid, maar slechts een mening in te zien, hetgeen hierop neerkomt, dat ze als bij Parmenides tot een bloten schijn wordt verklaard. Daarmee was dan echter het probleem van de secondaire qualiteiten meteen uit het philosophisch denken uitgeschakeld. Het is nu eenmaal de karakteristieke ontwikkelingsgang van het wetenschappelijk denken geweest, dat wat het meest direct gegeven is het laatst tot object van onderzoek gemaakt is, zoals ook van de buitenwereld het verder verwijderde eerder is bestudeerd dan wat zich in onze onmiddellijke omgeving afspeelt. Daarom is de astronomie ouder dan de physica en de psychologie aanmerkelijk jonger dan beide.

11. Demokritos voert zijn materialistische wereldbeschouwing zover door, dat hij ook de menselijke ziel (dit woord te verstaan als levensbeginsel en niet als onderstelde drager van het bewustzijn) uit atomen, namelijk uit een bijzonder soort kleine ronde gladde deeltjes, bestaand denkt. Daar verder ook de goden (daemonen, die wel moeilijker te vernietigen zijn dan de mens, maar evenmin als hij onvergankelijk) uit tijdelijke atoomcomplexen bestaan, is er van een ordenend en leidend beginsel dat de wereld zou kunnen besturen of van een doel dat in de atoombewegingen zou kunnen worden nagestreefd, geen sprake. Alles hangt af van de volstrekt onoverzienbare configuraties en bewegingen der oneindig vele atomen en de uitspraak, dat alles wat geschiedt, door natuurnoodzakelijkheid plaats vindt[6], beduidt in verband met de principiële ondoorgrondelijkheid van den dwang dier noodzaak niets anders dan dat alles aan het blinde toeval onderworpen is. Het materialisme van Demokritos als principe van natuurverklaring leidde zo automatisch tot een atheïstische wereldbeschouwing; deze consequentie heeft, zoals we nog zullen zien, de lotgevallen van zijn stelsel en daarmee de historische ontwikkeling der natuurwetenschap in hoge mate beïnvloed.

12. We hebben boven het atomisme van Demokritos omschreven als een specialen vorm van een corpusculairtheorie; men bepaalt dien vorm nog wel eens nader door het een mechanistische corpusculairtheorie te noemen, waarbij dan de term mechanistisch geacht wordt uit te drukken, dat de deeltjes elkander niet anders kunnen beïnvloeden dan door de werkingen die ze bij onderling contact op elkaar uitoefenen: stootkrachten bij botsing, duw- en trekkrachten bij duurzame aanraking. Uitgesloten zijn dus aantrekkende of afstotende krachten die over een afstand zouden werken, of geestelijk te denken invloeden, zoals liefde en haat bij Empedokles.

Het is wel duidelijk, dat dit gebruik van den term mechanistisch geen enkel verband met het begrip machine impliceert. Immers bij een machine denkt men aan een met bewustheid samengesteld werktuig, waarmee een wel omschreven doel verwezenlijkt wordt en het machinale, zielloze, zit alleen hierin, dat men het, zo men slechts voor de nodige beweegkracht zorgt, aan zich zelf kan overlaten. Dat is echter in alle opzichten het tegendeel van wat het Demokritisch wereldbeeld te zien geeft. De term mechanistisch bedoelt veeleer uit te drukken, dat de bewegingen der atomen worden beheerst door de wetten ener mechanica die geen andere krachten erkent dan die gedurende het onderling contact van twee lichamen worden uitgeoefend. We zullen zien, dat deze opvatting inderdaad gedurende een bepaalde periode in de ontwikkeling der mechanica gehuldigd is (IV: 283).

13. Het atomisme dankt de grote bekendheid, die het ook in tijden waarin het als verklarende theorie volstrekt verworpen werd, steeds behouden heeft, niet in de eerste plaats aan de geschriften der grondleggers; deze zijn namelijk reeds vroeg verloren gegaan en hun inhoud bleef slechts indirect bekend door wat de bestrijders der theorie, voornamelijk Aristoteles, er in hun polemieken over meedeelden. Het bleef echter vooral de aandacht trekken, doordat de Griekse wijsgeer Epikouros het als natuurwetenschappelijken grondslag voor zijn voornamelijk op ethische problemen gerichte philosophie gebruikte, waardoor het kwam te delen in de felle bestrijding, die zijn stelsel van verschillende zijden (in het bijzonder van Stoïcijnsen en Christelijken kant) ondervond. En het dankt zijn voortbestaan in nog hogere mate aan het feit, dat de Romeinse dichter Titus Lucretius Carus het tot onderwerp van zijn grote dichtwerk *De rerum natura* maakte; de schone poëtische inkleding, die hij aan de schijnbaar zo weinig dichterlijke stof gaf, heeft de atoomtheorie voor goed bewaard voor de vergetelheid, waaraan zij anders, overgelaten aan haat en verguizing, gemakkelijk ten prooi had kunnen vallen.

Het zou ons te ver voeren, hier in te gaan op de punten waarin de theorieën van Epikouros en Lucretius, bij volledige overeenstemming wat den geest van hun stelsel betreft, van die van de grondleggers der atomistiek afwijken. Op één kenmerkend verschil moge echter gewezen

worden. Om te verklaren, hoe de atomen, die in een ledige ruimte in een bepaalde richting vallend gedacht worden, er toe komen wervels te vormen waaruit werelden ontstaan, had Demokritos aangenomen, dat de grotere sneller vallen dan de kleinere; ze halen deze dus in, botsen er tegen en zo ontstaan de verlangde afwijkingen van de oorspronkelijke rechtlijnigheid der bewegingen. Epikouros en Lucretius onderstellen daarentegen, dat alle atomen, ongeacht hun grootte, even snel vallen, maar dat daarbij van tijd tot tijd een uiterst kleine spontane afwijking uit de aanvankelijke bewegingsrichting optreedt (bij Lucretius het *clinamen* genaamd), waardoor de mogelijkheid van botsing met andere atomen geopend wordt.

D. Het Platonisme[7]

14. De natuurphilosophie van Plato beduidt in verscheidene opzichten een toepassing en uitbreiding van gedachten die we in het bovenstaande bij oudere denkers leerden kennen. Echter ondergaan deze, opgenomen in zijn zeer persoonlijken denktrant en aangevuld door zijn eigen originele denkbeelden, een zodanige omvorming, dat het Platonisme als een stroming van geheel eigen aard naast de andere moet worden gesteld. We vatten hier in het kort die elementen van zijn stelsel samen die voor de geschiedenis der natuurwetenschap van belang zijn.

In de eerste plaats moet dan de voor zijn gehele wijsbegeerte fundamentele gedachte worden genoemd, dat de dingen die we waarnemen, slechts onvolkomen copieën, nabootsingen of afspiegelingen zijn van ideële vormen of ideeën (de term vormen verdient de voorkeur wegens de gangbare betekenis van denkbeeld of inval, die het woord idee in onze taal verkregen heeft), die in een bovenzinlijke wereld buiten ruimte en tijd een zelfstandig, slechts door het zuiverste denken te benaderen bestaan voeren.

Geheel in het midden latend, of deze voorstelling al dan niet haar ontstaan dankt aan de wijsgerige beschouwing van de eigenaardigheden van het wiskundig denken, kan men in ieder geval opmerken, dat zij in geen enkele werkzaamheid des geestes een zo treffende illustratie vindt als in die van den mathematicus: wanneer deze in het zand van zijn abacus strepen trekt, die een ruwe schets van een meetkundige figuur vormen, gebruikt hij ze slechts als een ondersteuning van een redenering die in werkelijkheid betrekking heeft op een idealen meetkundigen vorm en die dan ook tot resultaten voert waarvan de volkomen exactheid, algemene geldigheid en noodzakelijkheid onverklaarbaar zouden zijn, wanneer zij over de gemaakte tekening handelde; deze is kennelijk niet meer dan een ruwe nabootsing in het stoffelijke van den waarlijk zijnden idealen vorm. Op dezelfde wijze houdt hij, arithmetisch redenerend, zich ook

slechts schijnbaar bezig met verzamelingen van empirische dingen waarvan hij het aantal vaststelt; zijn ware object bestaat ook nu weer in mathematische entiteiten, de abstracte getallen, waaraan de aantallen hun naam ontlenen, omdat zij zich in de beschouwde verzamelingen zichtbaar uitdrukken.

Van hieruit valt ook een helder licht op de kenmerkende eigenschap van het wiskundig denken, dat een door zuivere redenering verworven resultaat, dat aanvankelijk òf onbekend was òf wellicht ongeloofwaardig leek, achteraf zich als iets zo helders en doorzichtige voordoet, dat men zich nauwelijks meer kan verplaatsen in den toestand waarin men dit nog niet wist. Wanneer namelijk de ziel vóór haar verbinding met het lichaam (die als een inkerkering moet worden opgevat) door rechtstreekse aanschouwing kennis van de ideale vormen heeft kunnen opdoen, is het denkbaar, dat die kennis nog steeds in sluimerenden toestand in haar aanwezig is. Wordt zij dan door toepassing van de dialectische methode, d.w.z. door ons redenerend gesprek met een ander of, in het eenzame denken, met ons zelf, weer tot bewustzijn gebracht, dan staat ineens het vroegere inzicht ons weer helder voor den geest; wat verwerving van nieuwe kennis scheen te zijn, is in feite slechts herinnering (ἀνάμνησις).

Wanneer nu echter het ware weten een zich herinneren blijkt te zijn, kan men voor de natuurwetenschap meer heil verwachten van een toepassing van het mathematisch redeneren en construeren, dat zich rechtstreeks op de vormen richt, dan van een empirisch zinlijk onderzoek van de onvolkomen afbeelding die deze ideale werkelijkheid in de materie ondervindt. De empirie kan haar nut hebben om het mathematisch-physisch denken te prikkelen of te ondersteunen, zoals de aandachtige beschouwing van de getekende figuur den wiskundige die een stelling wil bewijzen, kan inspireren en helpen, maar ze moet, als men tot de waarheid komen wil, op een zeker ogenblik worden losgelaten en wanneer tenslotte de door het denken gevonden resultaten niet exact in de materie geverifieerd blijken te kunnen worden, mag dit evenmin als een argument tegen die resultaten gelden als een wiskundige zich behoeft te storen aan de tegenwerping, dat lijnen waarvan hij bewezen heeft, dat ze door een punt gaan, dit in zijn figuur niet precies blijken te doen.

15. Het sterk geaccentueerde verschil in waardering voor twee elementen van het natuurwetenschappelijk denken waarvan eerst de harmonische samenwerking tot resultaten van blijvende waarde zou blijken te voeren, het empirische en het mathematische, beduidt slechts een der talrijke dualistische onderscheidingen met daaraan verbonden waardetegenstellingen, die Plato's wijsgerig stelsel kenmerken. Men kan de neiging tot dit antithetisch denken in wit en zwart reeds opmerken bij de Pythagoraeërs, die wanneer ze in hun tabel van tien paren aan elkaar tegenovergestelde begrippen o.m. het ene, het rustende, het rechte, het begrensde, het onevene en het mannelijke tegenover het vele, het be-

wegende, het kromme, het onbegrensde, het evene en het vrouwelijke plaatsen, de mate van waardering die ze aan elk der beide zijden toedragen, ondubbelzinnig tot uiting brengen door aan den eersten kant het goede en het licht, aan den anderen het kwade en de duisternis op te nemen.

Bij Plato worden dergelijke tegenstellingen nu zo op de spits gedreven, dat men te maken krijgt met twee volkomen van elkaar gescheiden extremen, die geen geleidelijken overgang of verbindende harmonie toelaten. Zo stelt hij, telkens als het lagere tegenover het hogere, de empeiria, d.i. de op pure routine gebaseerde hantering van onbegrepen vaardigheidsregels, tegenover de techne, het op causaal inzicht en overleg steunende doelbewuste practische handelen, de nabootsende tegenover de creatieve kunst, de mening (δόξα) tegenover het inzicht (ἐπιστήμη), het rijk der dingen (πράγματα) tegenover dat der redelijke gedachten (λόγοι), de wereld der verschijnselen tegenover die der vormen.

Voor de geschiedenis der natuurwetenschap zijn vooral de laatst genoemde drie tegenstellingen van belang: wanneer de eeuwige vormen door nabootsing in de materie het aanzijn geven aan de zinlijk waarneembare physische dingen en processen, dan beduidt dat een vertroebeling van de reinheid van hun zijn. Van die vertroebeling, van de altijd omlaag trekkende werking der materie, behoort de ziel zich te reinigen; ze moet zich principieel van de lagere wereld afwenden en er naar streven, zich te verheffen van αἴσϑησις, zinlijke gewaarwording, tot νόησις, redelijk begrip, ook al beduidt dat ontboeid worden uit den natuurlijken toestand een pijnlijke breuk met het verleden.

Er zit in deze beschouwingswijze niets, dat de natuurwetenschap in haar ontwikkeling noodzakelijk zou hebben behoeven te schaden: de natuuronderzoeker kan inderdaad niet blijven staan bij het vaststellen van empirische feiten; eerst de constructieve bewerking daarvan door den actieven geest met behulp van mathematische begrippen en methoden leidt tot de opstelling van een physische theorie. Het zal echter duidelijk zijn, dat in tijden, waarin men zich nog niet, door ervaring wijs geworden, een duidelijke voorstelling had kunnen vormen van de verhouding der aandelen, die het empirisch onderzoek en de mathematische constructie in het tot stand komen van physisch inzicht bezitten, beschouwingen als deze gemakkelijk konden voeren tot een onderschatting van de empirie en een overschatting van wat het denken zonder voldoende ervaringskennis op het stuk van natuurstudie kon bereiken. De remmende werking, die het Platonisme daardoor op de natuurwetenschap kon uitoefenen, is dan ook niet uitgebleven; wij zullen haar vooral kunnen vaststellen in tijden, waarin de wijsgerig gemotiveerde geringschatting van empirisch natuur-onderzoek ondersteund werd door een uit religieuse motieven voortvloeiende minachting voor het materiële (I: 54-58).

Het zal thans reeds duidelijk zijn geworden, dat Plato van harte instemt

met het Pythagoraeïsche beginsel dat we boven als kiem van de mathematisering der natuurwetenschap konden aanwijzen. En er lagen reeds dadelijk twee gebieden voor hem open, waarop hij het, Pythagoraeïsche gedachtengangen voortzettend, kon toepassen: de muziek en de astronomie. Zo zien wij hem dan ook in zijn enigen natuurwetenschappelijken dialoog, den *Timaios*, op grond van abstract-mathematische beschouwingen een toonladder construeren in den vorm van een stelsel van getalverhoudingen, waarvan de voor ons oor hoorbare intervallen slechts een vertroebeld schaduwbeeld, een gebrekkige nabootsing vormen en waarvan de harmonie dus ook niet gehoord, maar slechts gedacht kan worden. En aan de astronomen stelt hij den methodischen eis, die als Platonisch axioma twintig eeuwen lang de theoretische sterrenkunde zal beheersen: in de verwarde onregelmatigheid van de bewegingen der dwaalsterren het ideale mathematische systeem van eenparige cirkelbewegingen te ontwaren, dat de ware toedracht der processen aan een mathematischen hemel zal weergeven en zodoende de empirische verschijnselen, die de dwaalsterren vertonen, te redden van het vonnis der onwezenlijkheid, dat door hun onregelmatigheid schijnt te worden uitgelokt; wat de ogen ons ervan te zien geven moge dan schijn zijn, het denken kan althans het zijn achterhalen dat aan dien schijn ten grondslag ligt.

16. Van het telkens opnieuw uitgesproken denkbeeld, dat de zinlijke wereld slechts een afbeelding is van een ideale werkelijkheid, dat het ware, het zijnde zijn, niet door de zinnen, maar slechts door den geest kan worden gevat, is de dialoog *Timaios* de volledige en consequente uitdrukking. Een goede Demiurg - aldus de grondgedachte van het werk - heeft uit een chaotisch verdeelde oermaterie de wereld gevormd als beeld van een eeuwige vormenwereld, waarop hij bij zijn werk voortdurend het geestesoog gericht heeft gehouden. De overwegingen die hem daarbij leidden, waren mathematisch van aard: dat er tussen de elementen aarde en vuur, die de tastbaarheid en zichtbaarheid van zijn werkstuk moesten waarborgen, nog twee andere, water en lucht, ingeschakeld moesten worden, was het noodzakelijk gevolg van het mathematische feit, dat zich tussen twee kubische getallen, a^3 en b^3 (en kubisch moesten ze wel zijn, omdat het doel bestond in de voortbrenging van een driedimensionale wereld) twee middenevenredigen, d.w.z. twee termen die met de beide uitgangstermen een meetkundige reeks vormen (a^3, a^2b, ab^2, b^3), laten inlassen; de mathematisch geconstrueerde toonladder levert, volgens een gedachtengang waarin tijdelijk zowel het verband met de physica als dat met de redelijke mathesis wordt losgelaten en die geheel in de spheer der getallenmystiek thuishoort, het materiaal voor twee hemelse kringlopen, waarvan de ene de dagelijkse wenteling van den gehelen hemel om zijn as teweegbrengt en de andere de daaraan tegengesteld gerichte eigenbeweging van de dwaalsterren langs of evenwijdig aan de ecliptica bepaalt; de oermaterie zelf blijkt ten slotte identiek te zijn met de geometrische

ruimte en de kleinste deeltjes der elementen komen tot stand doordat delen van die ruimte door vier van de vijf regelmatige veelvlakken (een recente vondst van de jonge en zich snel ontwikkelende Griekse mathesis) worden omgrensd.

17. Opnieuw zien we hier, thans uit mathematische verbeeldingskracht geboren, een corpusculairtheorie der materie ontstaan, die met die van Demokritos in zoverre verwant is, dat ook hier de corpuscula begrensde delen zijn van een ongequalificeerde of, zo men wil, alleen met de qualiteit der ruimtelijke extensie en de daaruit voortvloeiend gedachte ondoordringbaarheid aangedane oermaterie. Overeenstemming tussen beide theorieën bestaat ook in de wijze waarop met behulp van deze elementaire corpuscula concrete physische verschijnselen worden verklaard. Daarentegen verschillen ze principieel in dit opzicht, dat de corpuscula van Plato niet ondeelbaar blijken te zijn. De polyeders, die hen uit de ruimtematerie hebben uitgesneden, blijken namelijk zelf te worden beschouwd als samengestelde structuren, waarvan de onveranderlijke bouwstenen, die feitelijk den naam atoom zouden verdienen, bestaan uit twee soorten driehoeken, waaruit de zijvlakken der polyeders opgebouwd kunnen worden gedacht: de rechthoekige gelijkbenige driehoek, waarvan er vier tot een vierkant aaneen kunnen worden gelegd en waarvan er dus 24 nodig zijn om de kubische corpuscula van het element aarde te vormen; de rechthoekige driehoek met hoeken van 30° en 60°, waarvan er zes een gelijkzijdigen driehoek samenstellen en waarvan men dus 24 behoeft om een tetraëdrisch vuurdeeltje, 48 om een octaëdrisch luchtdeeltje en 120 om een icosaëdrisch waterdeeltje op te bouwen. De verschillende elementaire corpuscula kunnen in deze constituerende driehoeken uiteenvallen en deze kunnen dan opnieuw tot polyeders worden samengevoegd. Uit aarde kan daarbij uiteraard alleen weer aarde ontstaan, maar een luchtdeeltje kan in twee vuurdeeltjes overgaan en omgekeerd, terwijl wegens de betrekking 120 = 2.48 + 24 een waterdeeltje kan veranderen in of ontstaan uit twee luchtdeeltjes en een vuurdeeltje.

18. Er wordt bij deze omzettingen - transmutaties van een mathematische elementenchemie - blijkbaar meer gedacht aan dunne materiële driehoekige plaatjes, waaruit men physische modellen van regelmatige veelvlakken zou kunnen samenstellen dan aan ideale ruimtevormen, die zich nu eenmaal niet tot zulk een handtastelijk bedrijf lenen. Zo balanceert het verhaal van *Timaios* voortdurend op de scheidingslijn van mathesis en physica, tussen de wereld van het zuivere denken en die der natuur-dingen, tussen mythe en empirische werkelijkheid, tussen fantasie en feit. Dat een hedendaags lezer, gewend aan de strenge denktucht der moderne wetenschap, zich verbijsterd voelt en zijn geduld verliest, is volkomen begrijpelijk; wanneer hij echter weten wil, hoe de physica gegroeid is, zal hij er nooit buiten kunnen, van den *Timaios* kennis te nemen: er zijn eeuwen geweest, waarin de inhoud van dit werk als hoogste wijsheid over

de natuur gold en andere, waarin althans de geest van deze natuurbeschouwing volop werkzaam was.

Die geest echter - dit zal uit het bovenstaande wel duidelijk zijn geworden - is in ieder opzicht lijnrecht tegenovergesteld aan dien van het wereldbeeld der Atomisten. Bleef daar zowel het ontstaan van een wereld als de gebeurtenissen die er zich in afspelen, onderworpen aan het blinde toeval, hier ordent een goede en wijze Demiurg een chaos tot kosmos; werd daar het leven van goden en mensen beschouwd als een bijzondere variëteit van de algemene atoombeweeglijkheid, hier wordt de kosmos tot een levend wezen gemaakt door het wereldlichaam met een wereldziel te begiftigen; bleef ginds de vraag naar het waarom van het bestaan der wereld even onbeantwoord als die naar het waartoe, *Timaios* geeft gelijktijdig uitsluitsel over den grond van de voortbrenging der wereld en over het daarmee beoogde doel: de goedheid van den Demiurg belette Hem, den chaos in den toestand van slechte wanorde, waarin Hij haar aantrof, te laten voortbestaan en dreef Hem er toe, de ordeloze ruimtematerie te schikken tot een schoon geheel, dat Hem zoveel als mogelijk was zou evenaren.

E. Het Aristotelisme[8]

19. Aan een bespreking van de natuurphilosophische of natuurwetenschappelijke denkbeelden van Aristoteles is de principiële methodische moeilijkheid verbonden, dat men zijn eigen stelsel niet meer los kan maken van de toelichting en de uitbreiding die het bij zijn antieke commentatoren en in de Scholastiek heeft ontvangen en ondergaan. Hij is steeds uiterst beknopt in zijn formuleringen en vaak duister; niet zelden wordt eenzelfde term in verschillende betekenissen gebruikt; zijn werken hadden dan ook uitleg zeer van node, maar dit leidde tot voortdurend meningsverschil over zijn ware bedoeling, met het gevolg, dat men die bedoeling vaak niet meer van den uitleg kan scheiden. We zullen echter in het hier volgende beknopte overzicht van enkele hoofdpunten van zijn leer er naar streven, zoveel mogelijk slechts datgene te behandelen, wat wel algemeen als echt-Aristotelisch wordt beschouwd.

Een tweede moeilijkheid bestaat hierin, dat de gehele wijsbegeerte van Aristoteles een zo sluitend geheel vormt, dat men bezwaarlijk enkele onderdelen los van het overige kan uiteenzetten; de beperking die we ons in dit werk moeten opleggen, staat echter niet toe, meer te behandelen dan voor het inzicht in de ontwikkeling der natuurwetenschap strikt nodig is; de lezer moge als onvermijdelijk aanvaarden, dat het wijsgerig stelsel als geheel hem daarbij niet voor ogen zal komen te staan. We spreken dan achtereenvolgens over:

a. de leer van substantie en accidens, materie en vorm, potentie en act.
b. het bewegingsbegrip.
c. de elementenleer en de theorie der mixtio.
d. natuurlijke en gedwongen bewegingen.
e. het algemene wereldbeeld.
f. het plaatsbegrip en de onmogelijkheid van het vacuum.
g. de leer der vier oorzaken en het doelbegrip
h. de algemene wetenschapsleer.

20. Alvorens tot de bespreking van deze punten over te gaan, bepalen we echter eerst de plaats die Aristoteles ten opzichte van oudere denkers inneemt door op drie punten te wijzen, waarin hij zich principieel van hen onderscheidt:

Hij stelt zich vooreerst tegenover het Platonisme door de opvatting, dat het waarlijk zijnde in een transcendente vormenwereld te vinden zou zijn, radicaal te verwerpen. Het object der wijsbegeerte in het algemeen en dat der natuurwetenschap in het bijzonder wordt gevormd door de dingen die wij met onze zinnen ervaren; alle kennis die we er van kunnen verwerven, komt in laatste instantie uit zinlijke indrukken voort, al heeft ook het intellect een eigen actieve functie bij de verwerking daarvan te vervullen; deze opvatting leidt tot een principieel empirische instelling ten aanzien van de natuurverschijnselen.

In de tweede plaats slaat hij bij de opstelling van zijn natuurwetenschappelijke theorieën een richting in, volkomen tegengesteld aan die welke het Atomisme gekozen had. Hierin was namelijk het voornaamste streven geweest, slechts zodanige verklaringsprincipes te gebruiken als vatbaar zijn voor quantitatieve bepaling: ruimtelijke extensie, geometrische gedaante, ligging, rangschikking, beweging. Aristoteles daarentegen wil een qualiteitenphysica opbouwen, waarin dus stoffelijke dragers van eigenschappen als verklaringsprincipes gelden.

In de derde plaats verwerpt hij volstrekt de Eleatische grondstelling, dat het zijnde niet vatbaar is voor ontstaan, veranderen en vergaan. Tegenover de redenering van Parmenides, dat het zijnde niet ontstaan kan uit het zijnde (dat al is, dus niet ontstaat) noch uit het niet-zijnde (omdat niets kan ontstaan uit iets, dat er niet is), wijst hij er op - het is altijd de methode geweest, waarmee hij de problemen aanpakte - dat men verschillende betekenissen van het woord zijn moet onderscheiden en dat de veranderingen die we in de natuur ervaren, door een diepere analyse van het zijnsbegrip wel degelijk redelijk begrijpelijk (intelligibel) gemaakt kunnen worden. Hoe dat mogelijk is, zullen we zien, wanneer we thans tot de behandeling van het eerste der boven opgesomde onderwerpen overgaan.

a. *Substantie en accidens, materie en vorm, potentie en act*

21. Substantie in den eersten en strikten zin van het woord beduidt het zijn aan van ieder concreet individueel bestaand ding: Socrates, deze tafel, dit beeld. Het is de eerste en fundamenteelste zijnswijze of categorie, die zich daardoor principieel onderscheidt van de negen andere (waaronder qualiteit, quantiteit, plaats en relatie), die alle accidentele zijnswijzen uitdrukken. Men moet dit accidenteel of bijkomstig niet opvatten als onbelangrijk of onwezenlijk, nog minder als toevallig; de bedoeling is alleen om aan te geven, dat het zijn der accidentia niet als dat der substantie een *esse per se*, een zelfstandig zijn is, maar een *esse per aliud*, een zijn door bemiddeling van iets anders. De accidentia inhaereren aan de substantie, zo b.v. aan de substantie Socrates zijn Athener zijn (qualiteit), zijn lichaamslengte (quantiteit), het vertoeven op de agora (plaats), het zoon van Sophroniskos zijn (relatie).

Aan iedere substantie kan nu het analyserend verstand onderscheid maken tussen het geheel der eigenschappen die dit ding maken tot wat het is en datgene dat door die eigenschappen tot dit ding gemaakt wordt. Het eerste, niet zozeer gedacht als een blote verzameling van kenmerken als wel als een inwendig structuurbepalend principe, heet de vorm van het ding; het tweede, dat de mogelijkheid uitdrukt, een structuur te ontvangen, de materie (in den strikten zin van het woord, die door den term *materia prima* wordt uitgedrukt). Vorm en materie worden kennelijk slechts door het denken onderscheiden; ze bestaan niet als afzonderlijke en zelfstandige zijnden, waarvan de vereniging door een soort van chemische binding het ding zou constitueren. Er wordt wel gezegd, dat de vorm aan de materie wordt opgelegd of daarin wordt afgedrukt en (later) dat de materie geïnformeerd wordt, maar deze beeldspraak mag er niet toe verleiden, in vorm en materie zelf weer substanties te zien, ze te substantialiseren, hypostaseren of reificeren.

22. Men kan nu echter den term materie ook in minder strikten zin toepassen. Wanneer (om het klassieke Aristotelische voorbeeld te gebruiken) een beeldhouwer uit een stuk marmer een beeld maakt, verleent hij aan het steenblok een stelsel van eigenschappen, een vorm (waartoe o.m. de uitwendige gestalte behoort, die men tegenwoordig uitsluitend vorm noemt, maar die we, om verwarring te voorkomen, liever gedaante zullen noemen), die het tot dit bepaalde beeld maken. Men kan nu in oneigenlijken, relatieven zin zeggen, dat het marmerblok de materie was, die door dezen vorm tot beeld gestempeld is. Dat het marmerblok in absoluten zin geen materie mag heten, dat het geen materia prima is, is duidelijk: het had immers reeds een vorm, voordat de beeldhouwer met zijn werk begon: het had een kleur, afmetingen, een plaats, en bovenal: het was marmer. Men moet het dus als gevormde of geïnformeerde materie (later ook *materia signata* genoemd) van de prima materia onder-

scheiden. Dit laatste begrip laat zich hierdoor nu echter achteraf in beeldspraak verduidelijken: zoals in het beeld de materia signata zich verhoudt tot den vorm dien de beeldhouwer er in brengt, zo verhoudt zich in ieder ding de materia prima tot het bepalende vormprincipe. Zij is als het ware de limiet waartoe het ding nadert, wanneer men het door het denken van steeds meer eigenschappen ontdoet.

De vorm maakt dus de materie tot substantie. Echter zijn voor het zijn der substantie niet alle eigenschappen die gezamenlijk den vorm constitueren, van evenveel belang: sommige zijn onmisbaar, b.v. voor een blok marmer de wijze, waarop de stof marmer is samengesteld uit de elementen, terwijl andere (b.v. de warmtegraad of de plaats) wel gewijzigd zouden kunnen worden zonder dat de substantie ophield marmer te zijn. De eerste groep, die der wezenlijke eigenschappen, wordt samengevat onder den naam van substantiëlen vorm of zijnsvorm; de tweede, die der bijkomstige of accidentele eigenschappen, onder dien van accidentelen vorm. De vorm heet dus substantieel voorzover hij voor het zijn der substantie onmisbaar is, accidenteel voorzover hij bij deze zelfde substantie wel anders zou kunnen zijn.

23. Niet minder wezenlijk dan de onderscheiding van materie en vorm is voor de Aristotelische wijsbegeerte die van het potentiële en het actuele zijn, korter van potentie en act, die het middel verschaft om te ontkomen aan het Eleatisch dilemma waaruit de onmogelijkheid van het worden scheen te volgen. Uit het marmerblok kon een beeld worden gehouwen; uit een zandhoop zou dat niet kunnen; uit een eikel kan een eik groeien, geen beuk. Aristoteles ziet nu in deze mogelijkheid om iets te worden reeds in zekeren zin een zijn van dat iets: het marmerblok is potentieel, naar mogelijkheid, het beeld dat er uit gevormd kan worden, de eikel de eik die er uit kan groeien. Het beeld zal echter eerst actueel, in werkelijkheid, bestaan, de eikel eerst actueel een eik zijn geworden, wanneer de beeldhouwer zijn werk heeft gedaan, het groeiproces is afgelopen. Uit de potentie is nu act geworden. Iets is dus, om het kort te zeggen, potentieel wat het worden kan, actueel wat het is.

Een nadere beschouwing leert, dat de twee boven gegeven voorbeelden van potentieel zijn niet geheel gelijkwaardig zijn. Het marmerblok leent zich tot het doel dat de beeldhouwer vervolgt; in den eikel is echter een actieve kiemkracht aanwezig, die de werkzame grond is voor het ontstaan van den eik. Dit onderscheid geeft den commentatoren aanleiding, tussen *potentia passiva* en *potentia activa* te onderscheiden.

Het is ten slotte zonder meer duidelijk, dat het zuiver potentiële zijn alleen toekomt aan de materia prima; daarom kan deze dan ook niet zelfstandig bestaan; er is nog geen enkele mogelijkheid in verwezenlijkt. De materia signata leidt daarentegen reeds een actueel bestaan; zij bezit reeds een vorm.

b. *Het bewegingsbegrip*

24. Met de zeer bijzondere opvatting van het zijn, die het Aristotelische stelsel kenmerkt, correspondeert een even speciale definitie van het begrip beweging. Beweging in den algemeensten zin van het woord heet namelijk iedere overgang van potentieel tot actueel zijn, onverschillig of daarbij een substantiële vorm in het leven wordt geroepen (*generatio*) of vergaat (*corruptio*) of de hoedanigheden van een ding veranderen (*alteratio*) of het wijzigingen in omvang of hoeveelheid ondergaat (*augmentatio* en *diminutio*) of dat het een andere plaats gaat innemen dan voorheen (*motus localis*). Meer in het bijzonder worden de laatste drie soorten veranderingen, die alle accidenteel van aard zijn en een zeker tijdsverloop vereisen, als beweging betiteld, terwijl de *in instanti* verlopende generatio en corruptio daarvan als substantiële verandering of *mutatio* worden onderscheiden.

De ruime omvang van het Aristotelische bewegingsbegrip leert eerst den waren zin verstaan van het latere scholastieke adagium: *ignorato motu ignoratur natura* (wie de beweging niet kent, kent de natuur niet). Dit houdt geen belijdenis in van een kinetisch wereldbeeld in de latere betekenis van het woord (verklaring van alle natuurverschijnselen door beweging van corpuscula), maar het formuleert de opvatting, dat alle natuurgebeuren bestaat in een overgang van potentie naar act, dat verandering het doorlopen van den ‘weg naar den vorm’ is. En het stelt dus tegenover alle Eleatisch gezinde wijsgerige stromingen, die slechts een wetenschap van het onveranderlijk blijvende erkennen, nadrukkelijk vast, dat het object der natuurwetenschap de verandering is.

25. De definitie van beweging als overgang van potentie naar act of als de weg naar den vorm heeft natuurlijk dit onbevredigende, dat zij in haar formulering het begrip der locale beweging reeds metaphorisch gebruikt. De oorspronkelijke Aristotelische definitie vermijdt dit; zij luidt: beweging is de act van het potentieel zijnde, beschouwd onder het gezichtspunt van het potentiële zijn (*motus est actus entis in potentia secundum quod in potentia est*) (zie verder I: 48), waarbij de laatste toevoeging waarschijnlijk bedoelt uit te drukken, dat men pas van beweging spreekt, wanneer er een feitelijk beroep op de passieve potentialiteit, de geschiktheid of dienstigheid gedaan wordt of wanneer de actieve potentialiteit, de kiemkracht, zich ook waarlijk openbaart. Zo zijn balken en stenen weliswaar potentieel een huis, maar er is pas sprake van de beweging ‘bouwen’, wanneer men zich hun geschiktheid om een huis te vormen in feite ten nutte maakt, niet zolang ze ongebruikt op de bouwplaats liggen.

De ruime opvatting van het bewegingsbegrip verhindert niet, dat de locale beweging, de plaatsverandering, reeds in het Aristotelische stelsel iets van de fundamentele betekenis bezit die zij later in de physica zal

verkrijgen: zij ligt namelijk aan alle andere soorten van beweging ten grondslag. Quantitatieve verandering van een lichaam berust op toevoeging of verwijdering van delen of op uitzetting of inkrimping van het lichaam zelf; qualitatieve en substantiële veranderingen kunnen niet anders plaats hebben dan ten gevolge van een ruimtelijk samentreffen van een agens, dat de verandering bewerkt, met het ding waarin ze teweeg wordt gebracht.

Het begrip locale beweging of plaatsverandering in den tijd vereist uiteraard een voorafgaande behandeling van de begrippen plaats en tijd; we zullen hierop, althans wat het eerste betreft, in I: 45 terugkomen.

c. *De elementenleer en de theorie der mixtio*

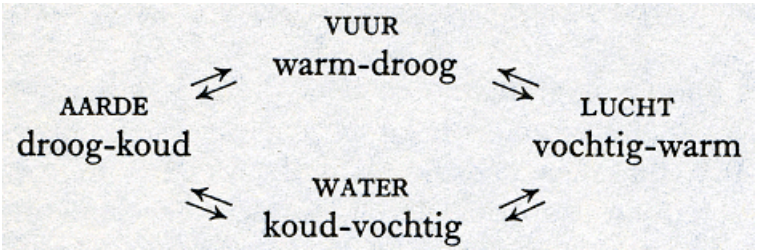
26. In niet minder hoge mate dan door de onderscheiding van materie en vorm en van potentie en act heeft de Stagiriet voor eeuwen zijn stempel op de natuurwetenschap gedrukt door de fundamentele plaats, die hij in zijn stelsel aan de Empedokleïsche leer der vier elementen heeft ingeruimd en door de wijze, waarop hij haar op dieper liggende beginselen heeft gefundeerd. In overeenstemming met de algemene tendentie van zijn denken naar het qualitatieve zoekt hij die beginselen onder de qualiteiten; deze moeten daartoe aan drie eisen voldoen: 1e. ze moeten haptisch zijn, d.w.z. den tastzin aandoen; 2e. ze moeten actief zijn, d.w.z. in staat, qualitatieve veranderingen te bewerken; en 3e. ze moeten paarsgewijs tegenstellingen vormen. Nu kent Aristoteles van zulke paren contrasterende haptische qualiteiten er zeven: warm-koud, vochtig-droog, zwaar-licht, dicht-ijl, ruw-glad, hard-week en taai-bros (welk laatste paar vaak wordt weggelaten). Hiervan voldoen aan den eis van activiteit alleen de eerste twee paren: een lichaam, dat zelf warm, koud, vochtig of droog is, kan die qualiteiten overdragen op een ander, waarmee het in contact komt, maar een ruw of hard lichaam maakt een ander, dat het aanraakt, niet ook ruw of hard. De elementen van de lichamenwereld worden nu gekenmerkt door de vier mogelijk combinaties van telkens twee van de fundamentele haptische actieve qualiteiten (die ook wel de eerste qualiteiten, *primae qualitates*, genoemd worden). En wel is het element

aarde	droog	en	koud								
water			koud	en	vochtig						
lucht					vochtig	en	warm				
vuur							warm	en	droog.		

Hierbij overheerst telkens de eerstgenoemde qualiteit. We merken in het voorbijgaan nog op, dat men in tegenstelling tot het boven gezegde den term actieve qualiteiten ook wel reserveert voor warm en koud en de andere twee eerste qualiteiten passief noemt, en wijzen er verder op, dat de vier elementen nooit in zuiveren toestand voorkomen; alle stoffen in de natuur, ook die welke de namen der elementen dragen, zijn uit ten

minste twee der vier samengesteld, waarbij echter één daarvan sterk kan overheersen. Zo heeft in soortelijk zware vaste lichamen het element aarde de overhand; in alle metalen moet de aanwezigheid van water worden aangenomen om de smeltbaarheid te verklaren; rook bestaat uit vuur en aarde enz.

27. De elementen zijn niet onveranderlijk; elk van hen kan in elk ander overgaan, doordat een grondqualiteit in haar tegendeel verkeert of ze dit beide doen. Het gemakkelijkst vindt de overgang echter plaats tussen twee elementen, die een qualiteit (de *qualitas symbola*) gemeen hebben; zo gaat aarde in water over, wanneer de droogte in vochtigheid verandert. De transformaties verlopen dus liefst volgens het schema:



maar overgangen van aarde in lucht en van water in vuur zijn niet uitgesloten.

Opnieuw blijkt hier een essentieel verschilpunt met het atomisme; daar waren de laatste constituerende elementen volstrekt onveranderlijk; hier wordt de qualitatieve veranderlijkheid, die in de makrowereld wordt waargenomen en die het atomisme op quantitatieve veranderingen in de mikrowereld wil terugvoeren, als zodanig ook voor de mikrowereld gepostuleerd.

Men trekt uit de Aristotelische leer van de veranderlijkheid der elementen wel de conclusie, dat de eigenlijke elementen dus niet aarde, water, lucht en vuur zijn, maar de vier eerste qualiteiten en inderdaad geven sommige uitlatingen van Aristoteles zelf wel aanleiding tot deze opvatting. Zij is echter onderhevig aan het bezwaar, dat de elementen dan geen substanties meer zijn, maar vormen, die twee aan twee de prima materia tot elementen in den oorspronkelijken zin van het woord stempelen.

28. De bewering, dat alle in de ervaring gegeven homogene stoffen samengesteld zijn uit de elementen, doet natuurlijk de vraag rijzen, welke de zijnswijze is, die aan de elementen in een dergelijke verbinding (μῖξις, *mixtio*) moet worden toegekend. Een homogene stof, geen mechanisch mengsel (σύνθεσις), waarin men bij voldoende fijnheid van gezichtsvermogen de ongelijksoortige bestanddelen naast elkaar zou kunnen zien liggen, kan maar een enkelen substantiëlen vorm hebben, die niet dezelfde kan zijn als die van een der vier elementen. Men is dus geneigd te concluderen, dat in de verbindingen de elementen blijkbaar niet meer aanwezig zijn en men kan inderdaad plaatsen aanhalen die voor deze opvatting schijnen te pleiten. Bij nadere beschouwing blijkt de zaak echter niet zo

eenvoudig te zijn. In de Scholastiek vormt het probleem van het al dan niet voortbestaan van de elementen in de verbinding dan ook een punt van strijd, waarin de voorstanders van verschillende mogelijke opvattingen zich allen op teksten van Aristoteles beroepen (II: 132-136). Vast staat natuurlijk wel, dat de elementen potentieel wel en in den strikten zin van het woord actueel niet in de verbinding aanwezig zijn, d.w.z. ze kunnen er weer uit ontstaan, maar ze zitten er niet met hun eigen substantiëlen vorm onveranderd in.

Een verbinding kan dan ook alleen tot stand komen, doordat de componenten een innerlijke verandering ondergaan, die hen als het ware praedisponeert voor het in veranderden vorm voortbestaan in de nieuw ontstaande stof. Dit wordt uitgedrukt door de Aristotelische formule: Ἡ δὲ μῖξις τῶν μικτῶν ἀλλοιωθέντων ἕνωσις.[9] (*Mixtio est miscibilium alteratorum unio*. Verbinding is het éénworden van de veranderde zich verbindende bestanddelen).

Hierbij blijft het echter de vraag, hoe dit proces zich precies afspeelt en wat onder het potentieel voortbestaan moet worden verstaan. We zagen immers reeds, dat dit woord verschillende betekenissen heeft.

29. De onmiskenbare verwantschap tussen de Aristotelische leer van de samenstelling der stoffen uit elementen en de latere theorie van de chemische binding leidt vanzelf tot de vraag, hoe Aristoteles tegenover het probleem van de deelbaarheid stond: is een stof onbegrensd deelbaar in steeds kleinere delen, die niettemin de specifieke eigenschappen der stof behouden of komt er een ogenblik, dat voortzetting van de deling met behoud van den substantiëlen vorm niet langer mogelijk is? Ook op dit punt is zijn mening moeilijk ondubbelzinnig vast te stellen. Er zijn plaatsen, waar men kan menen de onbegrensde deelbaarheid (potentieel onbegrensd wel te verstaan, want van een actuele oneindigheid kan bij den Stagiriet geen sprake zijn) uitgesproken te vinden en dit zou ook zeer wel stroken met zijn kritische houding ten aanzien van het atomisme; maar elders betoogt hij tegen Anaxagoras, dat er een natuurlijke grens aan de deelbaarheid is gesteld, die men niet zou kunnen overschrijden zonder den substantiëlen vorrn aan te tasten. Iedere stof zou dus zijn eigen karakteristieke kleinste deeltjes, zijn *minima naturalia*, bezitten, die te vergelijken zouden zijn met de moleculen van de latere chemie[10].

Het tegen Anaxagoras gerichte betoog heeft echter speciaal betrekking op bestanddelen van levende wezens, i.c. op vlees en been, en het is de vraag, of men de hiervoor opgestelde bewering mag uitbreiden, of men dus in den gedachtengang van Aristoteles ook van de minima naturalia van de stoffen der levenloze natuur, b.v. van de metalen, mag spreken. Wat bij hem zelf echter nog twijfelachtig is, blijkt in de latere ontwikkeling van zijn denkbeelden bij zijn commentatoren geen punt van twijfel meer te vormen. Reeds zijn Griekse uitleggers zijn het er over eens, dat elke stof haar eigen minima naturalia van een voor die stof karakteristieke grootte

bezit. We zullen bij de behandeling van de Scholastiek op deze theorie terugkomen (II: 137).

d. *Natuurlijke en gedwongen bewegingen*[11]

30. In tegenstelling tot het atomisme, waarin de eeuwigdurende beweging der atomen werd gepostuleerd zonder dat de behoefte aan een causale verklaring van die beweging gevoeld werd, berust de Aristotelische physica op het axioma, dat iedere beweging(*motus*) een beweger (*motor*) vereist: *omne quod movetur ab alio movetur*[12] (alles wat in beweging verkeert wordt door iets anders bewogen). En wel moet die motor hetzij in het *mobile* (zich bewegend lichaam) huizen, hetzij daarmee in onmiddellijk contact staan; *actio in distans* (werking in de verte) wordt als ondenkbaar uitgesloten; een motor moet steeds een *motor conjunctus* (met het mobile verbonden) zijn.

Het is nu echter vaak een probleem, dien motor op te sporen. Beperken we ons tot locale bewegingen, dan zijn er geen moeilijkheden bij levende wezens: de *anima* (ziel), die het levensbeginsel is, is tevens het verlangde bewegingsprincipe; de levende wezens bewegen zich *a se*, uit eigen kracht. Voor de *corpora inanimata* (levenloze lichamen) is de vraag echter niet zo eenvoudig te beantwoorden. Vooreerst moet hier onderscheid worden gemaakt tussen natuurlijke en gedwongen beweging (*motus secundum naturam* of *motus naturalis*; *motus praeter naturam* of *motus violentus*). Een voorbeeld van de eerste soort levert een vallende steen of opstijgende rook; de tweede komt voor bij een omhoog geworpen steen of een in willekeurige richting voortgeschoten pijl. We betreden hiermee het belangrijke gebied van de verschijnselen van val en worp, die in de Aristotelische physica reeds een prominente positie bekleden en die later voor het ontstaan van de klassieke natuurwetenschap een essentiële betekenis zullen blijken te bezitten.

Het spontane vallen, dat sommige lichamen losgelaten vertonen, en het even spontane opstijgen van andere (rook, vlammen), dat als val omhoog betiteld kan worden, is van oudsher natuurlijk wel in verband gebracht met de qualiteiten zwaar en licht, die we gewaar worden als we den val omhoog of omlaag belemmeren. Deze qualiteiten moeten uiteraard op een of andere wijze in verband staan met de eerste qualiteiten, waaruit de elementen zijn afgeleid; het is echter nooit gelukt dit verband ontologisch (in zijn wezen) te begrijpen; men kon slechts phaenomenologisch (beschrijvend) op grond van ervaring met *mixta* (samengestelde lichamen) waarin een der elementen aarde of vuur overheerst, vaststellen, dat deze beide *elementa extrema* onder alle omstandigheden zwaar, resp. licht zijn; de andere twee, de *elementa media*, kunnen zich verschillend gedragen en worden daarom als zwaar-en-licht of als relatief zwaar of licht betiteld: water kan zich boven vaste lichamen plaatsen, maar valt

in lucht omlaag; het is dus licht ten opzichte van aarde, zwaar ten opzichte van lucht. Daar echter de beide elementa media in den regel voor den val juist als media (tussenstoffen) fungeren (wat aarde en vuur niet kunnen doen), kunnen we ons verder wel beperken tot bewegingen van lichamen die geheel of in overwegende mate uit aarde of vuur bestaan en zich in water of lucht bewegen; zo worden de termen zware en lichte lichamen (*gravia* en *levia*) blijkbaar gewoonlijk bedoeld.

Men kan het feit, dat een *grave* omlaag, d.i. naar het wereldcentrum toe, en een *leve* omhoog, dus naar de maanspheer toe, valt, ook zo formuleren, dat volgens de orde van den kosmos het eerste blijkbaar zijn natuurlijke plaats bij het centrum, het tweede de zijne bij de peripherie heeft en dat ze zich onmiddellijk daarheen bewegen wanneer geen hindernis hen daarvan weerhoudt. De volkomen gerealiseerde natuurlijke orde, waartoe alle lichamen voortdurend in actieve potentie zijn, zou dan ook hieruit bestaan, dat de vier elementen in concentrische bolvormige lagen de ruimte binnen de maanspheer zouden opvullen, de aarde dadelijk om het centrum, daaromheen het water, dan de lucht en ten slotte het vuur.

31. Het valverschijnsel (we denken nu verder alleen maar aan val van gravia omlaag, maar al het gezegde geldt mutatis mutandis ook voor de levia in hun natuurlijke beweging omhoog) doet nu drie belangrijke vragen rijzen: 1e. wat is het *aliud* (het andere) dat een vallend lichaam in beweging brengt en houdt? 2e. Hoe komt het, dat het ene lichaam in den val een gegeven afstand in korteren tijd doorloopt dan het andere? 3e. Welke oorzaak bewerkt, dat de lichamen al vallende hun beweging versnellen? Het zijn vragen, die van zo essentieel belang voor het ontstaan der klassieke physica zullen blijken te zijn, dat men welhaast kan zeggen, dat deze voor een aanzienlijk deel uit hun beantwoording gegroeid is; het verschil in karakter tussen de antieke en de klassieke natuurwetenschap kan nauwelijks beter begrepen worden dan door eerst kennis te nemen van wat Aristoteles over deze vragen te zeggen heeft.

De eerste vraag brengt den Stagiriet en met hem al zijn antieke en middeleeuwse commentatoren in niet geringe verlegenheid: daar het immers om corpora inanimata gaat, is beweging a se uitgesloten; daar verder de gedachte aan een actio in distans van den beginne af als ondenkbaar uitgeschakeld is en het *simul esse* (onmiddellijk contact) van motor en mobile als vanzelfsprekende eis geldt, komt ook geen enkele verklaring in aanmerking, die zou zwemen naar de onderstelling van een attractie door de natuurlijke plaats of de daar aanwezige lichamen.

De vraag wordt tenslotte volgens een in de Scholastiek gangbare interpretatie zo beantwoord, dat als de essentiële motor het *generans* wordt aangewezen, d.i. de oorzaak, welke dit ook zij, die eenmaal het grave heeft doen ontstaan, die zijn substantiëlen vorm in de materie heeft geintroduceerd en daarmee tevens alle daaraan verbonden accidentia in het aanzijn heeft geroepen. Dit generans kan echter slechts *agens remotum*

(verwijderd agens) zijn; de substantiële vorm is *agens proximum* (onmiddellijk agens); echter kan een substantiële vorm slechts werken door middel van de daarmee geassocieerde qualiteiten en vermogens; als *agens instrumentale* (uitvoerend agens) fungeert nu het accidens *gravitas* (zwaarte), waardoor het lichaam in potentie is tot de natuurlijke plaats om het centrum. Opdat echter de valbeweging werkelijk plaats zal kunnen vinden, moet nog het *impedimentum* (het hindernis in den vorm van een ondersteuning of een koord waaraan het grave hangt) worden weggenomen, dat den val tot dusver verhinderde; het *removens impedimentum* (datgene dat het hindernis verwijdert) fungeert dus als *motor accidentalis*.

Hiermee is nu echter nog niet gezegd wat tijdens den val als motor conjunctus fungeert. Aristoteles laat zich hierover niet ondubbelzinnig uit en de Scholastiek heeft dus dit punt opnieuw in studie moeten nemen. We zullen te zijner tijd (II: 109 vlg). zien, welke verschillende meningen er over zijn uitgesproken.

32. De tweede der boven gestelde vragen: hoe het komt, dat niet alle lichamen even snel vallen, wordt door Aristoteles nergens uitdrukkelijk als zodanig behandeld; echter is uit verscheidene passages, waarin hij zich in andere redeneringen op dit verschijnsel beroept, wel op te maken, welke mening hij er over heeft. Blijkbaar vertrouwend op de algemene geldigheid van zekere onopzettelijk verworven ervaringen (een blad, dat langzaam omlaag dwarrelt, vergeleken met den val van een steen; de verlangzaming van den val, wanneer deze inplaats van in lucht in een vloeistof plaats heeft) neemt hij aan, dat de valsnelheid (d.w.z. de gemiddelde snelheid over een zekeren afstand) evenredig is met de zwaarte van het vallend lichaam en omgekeerd evenredig met de dichtheid van het medium; of hij die evenredigheid voor alle gevallen strikt doorgevoerd heeft willen zien, of hij dus de later vaak tegen hem uitgespeelde conclusie, dat een lichaam dat tienmaal zo zwaar is als een ander, in een zelfde medium een zelfden afstand in een tienmaal zo korten tijd zou moeten doorlopen, voor zijn rekening zou hebben willen nemen, kan niet met zekerheid worden gezegd; in een ander soortgelijk geval blijkt hij namelijk een opgestelde evenredigheid slechts binnen zekere grenzen geldig te achten.

33. Op welke wijze hij ten slotte het hem ook weer uit alledaagse ervaringen bekende feit, dat de snelheid van een grave (het woord snelheid thans te verstaan als snelheid op zeker ogenblik of instantane snelheid) tijdens den val toeneemt, heeft verklaard, is moeilijk te achterhalen. Wanneer hij wil aantonen, dat een natuurlijke rechtlijnige valbeweging zich niet tot in het oneindige zou kunnen uitstrekken, beroept hij zich er op, dat in dit geval de snelheid en daarmee ook de zwaarte van het lichaam boven iedere grens zou moeten groeien en op grond hiervan heeft men hem dan ook wel de mening toegeschreven, dat de zwaarte zou toenemen bij nadering tot de natuurlijke plaats. Echter ontkent hij even daarvoor met nadruk, dat een zo uiterlijke omstandigheid als afstand tot iets anders

invloed zou kunnen uitoefenen, waar toch de substantiële vorm van het grave niet verandert. De uitlating is op zich zelf typerend voor den geest van zijn stelsel: niet de relaties tot andere dingen bepalen de lotgevallen der stoffelijke lichamen, maar hun eigen aard, hun natuur, doet het.

34. Dat de antwoorden die Aristoteles op de principiële vragen die naar aanleiding van den val gesteld konden worden, te geven had, zo vaag en onzeker zijn gebleven, zal ongetwijfeld toe te schrijven zijn aan het feit, dat deze beweging van nature, spontaan, verloopt; dat prikkelt de verklaringsbehoefte minder dan wanneer we een lichaam iets zien doen dat met zijn aard schijnt te strijden, dat tegen zijn natuur schijnt te zijn. Dat is het geval bij den omhoog of zijdelings geworpen steen. De vraag naar den motor conjunctus wordt veel dringender gevoeld nu de eigen aard van het lichaam niet meer als verklaring kan dienen. Wat is het dan, dat het *projectum* (voortgeworpen lichaam) nog voortbeweegt, wanneer het de hand van den *projector* (werper) verlaten heeft en dus een *projectum separatum* (van den werper gescheiden projectiel) geworden is? De beantwoording van deze vraag, die een der verwonderlijkste trekken der Aristotelische physica blijkt te vormen, luidt als volgt: bij het voortwerpen van een lichaam is de projector aanvankelijk daarmee nog in contact en hij fungeert dus eerst zelf als motor conjunctus. In deze periode brengt hij nu mèt het projectum ook de aangrenzende laag van het medium in beweging, maar bovendien - en dit is het essentiële punt - deelt hij daaraan een *virtus movens*, een vermogen om iets anders in beweging te brengen, mee; hij draagt zijn functie van projector aan die laag van het medium over. En deze doet dan in de volgende periode hetzelfde wat de oorspronkelijke projector in de eerste deed: het projectum bewegen, beweging èn virtus movens overdragen op de volgende laag. Zo vindt het projectum in ieder punt van zijn baan den motor conjunctus, die voor het onderhouden van de beweging vereist wordt. Het bewegend vermogen wordt echter bij iedere overdracht enigszins verzwakt; er komt een ogenblik waarop de volgende laag van het medium nog wel in beweging wordt gebracht, maar geen virtus movens meer er bij krijgt. Het projectum gaat nu over in zijn natuurlijke beweging en de laatst bewogen mediumlaag komt tegelijk met de voorlaatste tot rust.

Men heeft deze gecompliceerde theorie vaak in dezen zin misverstaan, dat men het voorstelde, alsof de projector het medium in beweging bracht en dit nu het projectum als in een accidentele (meevoerings- of sleep-) beweging met zich meenam. Aristoteles verwerpt deze opvatting echter even nadrukkelijk als de in zijn tijd reeds bekende verklaring met behulp van antiperistasis; volgens deze theorie zou de lucht die het projectum voor zich uitdrijft, zich in de leegte storten die het door zijn beweging achter zich laat en zo doende een kracht uitoefenen, die het verder voortbeweegt.

35. Behalve den motus violentus der projecta separata heeft Aristoteles ook nog het geval van gedwongen beweging beschouwd, waarin een mobile

wordt voortgetrokken of -geduwd: een wagen op een weg, een schip in water. Hier bestaat natuurlijk geen probleem inzake den motor conjunctus; men ziet hem werken. De stellingen die hij, in zeer uitdrukkelijke formulering, over deze bewegingen heeft uitgesproken, hebben echter eveneens een zeer belangrijke functie in de ontwikkeling der natuurwetenschap vervuld; de omstandigheden hebben er nu eenmaal toe geleid, dat welhaast ieder denkbeeld van den Stagiriet, onafhankelijk van zijn intrinsieke waarde, een invloedrijke factor in de geschiedenis van het denken geweest is.

Opnieuw is het de meest alledaagse ervaring, die hij in zijn stellingen neerlegt: een voer- of vaartuig gaat des te sneller voort, naarmate men krachtiger duwt of trekt en, bij gelijke krachtsinspanning, des te langzamer, naarmate het zwaarder is; verder is de beweging, zolang de kracht niet verandert, kennelijk eenparig. Dit kan worden samengevat in wat men de grondwet der Aristotelische dynamica kan noemen en als historisch pendant van de fundamentele bewegingswet der klassieke dynamica kan beschouwen: een constante kracht geeft aan het lichaam waarop ze werkt, een eenparige beweging, waarvan de snelheid recht evenredig is met de kracht en omgekeerd evenredig met de zwaarte van het lichaam.

Het lijkt voor onze tegenwoordige denkgewoonten vanzelfsprekend, de boven meegedeelde valwet, die de (gemiddelde) valsnelheid in verband brengt met de zwaarte van het vallend lichaam en de dichtheid van het medium, te beschouwen als een bijzonder geval van deze algemene dynamische wet. Het ziet er echter weinig naar uit, dat Aristoteles dit ooit zou gedaan hebben en dat is, wanneer men zich eenmaal in de antieke denkwijze heeft verplaatst, ook volkomen begrijpelijk. Wanneer men in de zwaarte niet een kracht ziet die van buiten af op het grave wordt uitgeoefend, maar een intrinsiek bewegingsprincipe, dat met de natuur van het lichaam in het nauwste verband staat, en daarbij dan den nadruk legt op het natuurlijk karakter van de beweging die ze veroorzaakt, moet het welhaast onmogelijk lijken, haar te beschouwen als een bijzonder geval van een uitwendigen motor conjunctus, die een gedwongen, dus niet uit den aard van het mobile voortvloeiende, beweging teweegbrengt. Temeer omdat de functie van de zwaarte in de beide bewegingen geheel verschillend schijnt te zijn: zware lichamen vallen gemakkelijk, maar een zwaar voertuig is moeilijk in beweging te brengen; de zwaarte schijnt hier de duw- of trekkracht tegen te werken.

Het is voor den hedendaagsen lezer natuurlijk duidelijk, dat ze dit in feite juist niet doet: bij de beweging van een voertuig over een horizontalen weg kan de zwaarte als zodanig geen directe rol spelen: het lichaam behoeft niet gedragen te worden en zijn zwaarte komt slechts indirect in het geding, omdat de wrijving er van afhangt. Het gaat in werkelijkheid om de traagheid, om de tendentie om in rust te blijven, welke tendentie in intensiteit wel evenredig, maar in wezen geenszins identiek is met

de zwaarte. Het zou nog eeuwen duren, voordat deze gecompliceerde samenhang ontward zou worden, voordat men tussen traagheid en zwaarte, tussen massa en gewicht, zou leren onderscheiden en vooral, voordat men het inzicht zou verwerven, dat de tendentie tot volharding in den eenmaal aangenomen toestand, die traagheid heet, even goed op den toestand van beweging betrekking heeft als op dien van rust. Het volharden in een bewegingstoestand zolang deze niet door uitwendige oorzaken gestoord wordt, lag echter volkomen buiten den gezichtskring der Aristotelische physica: *omne quod movetur ab alio movetur*; en wanneer dit aliud gaat ontbreken, wanneer de ziel een levend lichaam verlaat, de substantiële vorm van een grave verdwijnt, de luchtlagen hun virtus movendi verliezen of de motor conjunctus van een voertuig ophoudt te werken, is het meteen uit met de beweging. *Cessante causa cessat effectus*: mèt de oorzaak houdt de uitwerking op.

Wanneer men in de dynamische grondwet, in overeenstemming wel niet met de woorden, maar toch zeker met de diepere bedoelingen van Aristoteles in plaats van zwaarte traagheid leest en deze opvat als weerstand tegen verstoring van den rusttoestand, wanneer men m.a.w. de wet (met volle bewustheid van het anachronisme dat daarmee begaan wordt, maar ter wille van de overzichtelijkheid, die ze er voor een hedendaagsen lezer door verwerft) symbolisch formuleert als

$$v = f \cdot \frac{K}{T}$$

(*K* = bewegende kracht, *T* = traagheidsweerstand, *v* = snelheid) begint de valwet, die onder hetzelfde voorbehoud als

$$v = f \cdot \frac{G}{W}$$

(*G* = gewicht, *W* = weerstand van het medium, *v* = gemiddelde snelheid) te schrijven is, reeds meer op een bijzonder geval van de algemene wet te gelijken. Nog duidelijker wordt het verband, wanneer men in de algemene wet nog rekening gehouden denkt met den weerstand van het medium. Aristoteles spreekt zich hierover wel niet uitdrukkelijk uit, maar het lijdt nauwelijks twijfel, dat hij de snelheid die een voertuig onder invloed van een gegeven kracht krijgt, naar analogie van wat hij bij den val dienaangaande meent, omgekeerd evenredig zal hebben gesteld met den weerstand dien de weg waarover of het medium waarin de beweging plaats heeft, daartegen bieden. De algemene dynamische wet zou dan luiden:

$$v = f \cdot \frac{K}{W} \text{ of } K = c \cdot v \cdot W$$

waarbij onder *W* (*vis resistiva*) alle invloeden zijn samengevat, die de beweging bemoeilijken, ook al zijn deze voor ons gevoel zo heterogeen als traagheid en wrijving.

36. Bij deze definitieve formulering van de grondwet der Aristotelische dynamica, die dus het antieke analogon beduidt van de fundamentele formule $K = m\,a$ van de klassieke mechanica, moet echter nog een ander voorbehoud worden gemaakt dan door het anachronisme van de uitdrukkingswijze vereist wordt. De stelling is namelijk alleen geldig, wanneer $K > W$; de bewegende kracht moet den weerstand kunnen overwinnen, wil er beweging tot stand kunnen komen. Terwijl dus, om een door Aristoteles zelf gegeven voorbeeld te gebruiken, een kracht A die een lichaam B in een zekeren tijd over een zekeren afstand verplaatst, de helft van dat lichaam in dienzelfden tijd het dubbele van den weg doet afleggen, is het helemaal niet zeker, dat zij het dubbele van dat lichaam in dien tijd over de helft van den weg zal bewegen. Daartoe moet de kracht eerst in staat zijn, het lichaam $2B$ werkelijk te verplaatsen.

In de gegeven formulering van de dynamische grondwet komt een eigenaardigheid van het Aristotelische denken, die later aan het ontstaan van de klassieke mechanica nog grote moeilijkheden in den weg zal leggen, duidelijk tot uiting: het is de neiging om alles wat als weerstand kan worden opgevat te delen op de bewegende kracht en nooit daarvan af te trekken. Alle weerstanden worden juist zo behandeld, als wij het bij de berekening van de sterkte van een electrischen stroom den weerstand van een geleiddraad doen, niet zoals we in de mechanica een wrijvingsweerstand in rekening brengen of in de electriciteitsleer een tegenspanning. We zullen nog zien, welke belangrijke consequenties hieraan verbonden zijn geweest voor de vraag naar de mogelijkheid van een vacuum (I: 45).

37. We hebben bij de behandeling van de natuurlijke en gedwongen bewegingen heel lang stilgestaan, maar het onderwerp verdient die uitvoerigheid om zijn eminente betekenis voor het verkrijgen van een juist inzicht in de Aristotelische denkwijze over de natuur en in de moeite die het gekost heeft, haar te boven te komen. Met de fouten en misvattingen die daarbij overwonnen moesten worden, worstelt in wezen nog heden ten dage iedere beginneling in de physica en in het beginonderwijs in dit vak speelt zich elk jaar in verkleinden maatstaf en versneld tempo een stuk van de geschiedenis opnieuw af. De oorzaak ligt voor de hand: Aristoteles heeft niets anders gedaan dan de allergewoonste ervaringen op het stuk van beweging als algemene natuurwetenschappelijke stellingen formuleren, terwijl de klassieke mechanica met haar traagheidswet en haar evenredigheid van kracht en versnelling beweringen uitspreekt, die niet alleen door de alledaagse ervaring nooit bevestigd worden, maar waarvan de directe experimentele verificatie in beginsel uitgesloten is: men kan nu eenmaal een stoffelijk punt niet geheel alleen in een oneindige lege ruimte brengen en er dan een kracht op laten werken die constant is in richting en grootte; men kan aan deze formulering zelfs geen redelijken zin hechten. En van alle proeven waarmee de leerboeken der mechanica

de dynamische grondwet plegen te bewijzen, is er nooit een enkele in werkelijkheid uitgevoerd.

De Aristotelische physica heeft dus op de klassieke voor, dat zij handelt over concrete aanschouwelijke situaties, die we voortdurend om ons heen aantreffen. Maar dat vormt uit natuurwetenschappelijk oogpunt juist haar zwakte, want deze situaties zijn zo gecompliceerd (men denke maar eens aan een wagen, die in lucht voortgetrokken wordt over een ruwen weg of aan een lichaam van willekeurigen vorm, dat omhoog geworpen wordt), dat ze zelfs met alle hulpmiddelen van de voltooide klassieke mechanica altijd nog maar bij benadering en ten koste van betrekkelijk willekeurige onderstellingen mathematisch te behandelen zijn.

De bewegingsleer vereist een even vèr gaande idealisering als waardoor men uit physische ervaringen over vaste lichamen tot de meetkunde van Euclides komt. De Aristotelische denkwijze moest door de Platonische worden aangevuld om eerst waarlijk vruchtbaar te worden. Deze voor de mechanica en daardoor voor de gehele physica onontbeerlijke vereniging van de twee grote antieke denkrichtingen zou voorlopig echter slechts in zeer beperkte mate worden voltrokken: de oudheid heeft haar alleen voor de statica tot stand gebracht en het heeft tot in de 17e eeuw moeten duren, voordat ook de dynamica ervan heeft kunnen profiteren.

38. Voor de statica heeft de gewenste idealisering reeds plaats in het vroeger aan Aristoteles toegeschreven en in ieder geval uit zijn school afkomstige werk *Quaestiones Mechanicae*. Hierin worden namelijk beschouwingen over het evenwicht van een hefboom gehouden, waarin inplaats van een stoffelijke met gewichten bezwaarde staaf een gewichtloos lijnstuk wordt beschouwd, waaraan verticaal omlaag gerichte krachten aangrijpen. Het merkwaardige van de behandeling bestaat nu echter hierin, dat er een verrassend verband wordt gelegd tussen de af te leiden hefboomswet en de grondwet der peripatetische dynamica. Het gaat er om (Fig. 1) te bewijzen, dat als de hefboom om O draaibaar is en in de punten A_1 en A_2 de gewichten G_1 en G_2 draagt, de evenwichtsvoorwaarde luidt:

$$G_1 : G_2 = OA_2 : OA_1.$$

Om dit in te zien, stelt de auteur zich voor, dat de staaf een draaiing om O ondergaat. A_1 en A_2 doorlopen dan cirkelbogen A_1B_2 en A_2B_2, waarvan de lengten zich verhouden als OA_1 en OA_2.

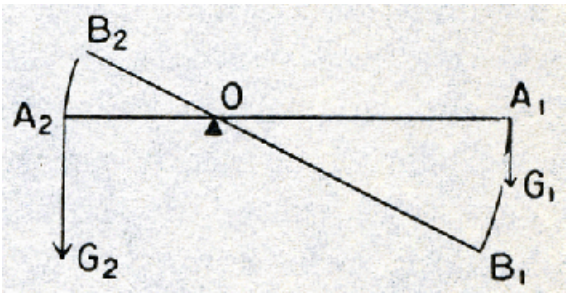


Fig. 1. Afleiding van de hefboomswet volgens Aristoteles.

Daar deze bewegingen in denzelfden tijd plaats hebben, verhouden zich de snelheden als de wegen en de opgestelde betrekking drukt dus ook uit, dat het product van gewicht en snelheid voor de beide aan den hefboom opgehangen lichamen dezelfde waarde heeft. Dat product is nu echter volgens de peripatetische

dynamica in het algemeen bij de beweging van een lichaam een maat voor de bewegende kracht en de aan de gewichten opgelegde voorwaarde drukt dus uit, dat zij gelijke werkingen op den hefboom uitoefenen, zodat er geen draaiing optreedt.

Het verrassende dat in deze redenering schuilt, is natuurlijk dit, dat terwijl in de dynamische wet het product van gewicht en snelheid een maat was voor de kracht die de beweging van een lichaam teweegbrengt, het hier optreedt als uitdrukking voor het bewegend vermogen van het lichaam zelf. We moeten echter bedenken, dat elk der beide lichamen het andere in beweging tracht te brengen en dat het dus ten opzichte van het als last beschouwde andere als macht fungeert. De moeite die het kost om de last te bewegen, wordt nu echter bepaald door het product van gewicht en snelheid en het ligt nu voor de hand, hierin ook een maat te zien voor het vermogen van de macht om die beweging te veroorzaken. In ieder geval is de in de *Quaestiones Mechanicae* slechts geschetste afleiding later algemeen zo opgevat; dat men er het tijdelement bijhaalde, dat helemaal niet ter zake doet, geschiedde kennelijk met het doel over snelheid te kunnen spreken en zo de aansluiting aan de dynamica te vinden.

De redenering is natuurlijk hoogst aanvechtbaar en bezit weinig overtuigingskracht. Dat neemt niet weg, dat zij de kiem bevat van een algemeen principe, dat later onder den naam van principe der virtuele verplaatsingen (of met een ouderen, aan den oorsprong in bovenstaanden gedachtengang herinnerenden naam, principe der virtuele snelheden) een belangrijke functie in de mechanica zou vervullen.

39. We hebben boven gezien, dat de substantiële vorm van een element de natuurlijke beweging die het kan uitvoeren, bepaalt en tevens, dat deze voor elk der vier elementen die we tot dusver ontmoet hebben, rechtlijnig is. Nu leert echter de dagelijkse ervaring ook een niet-rechtlijnige natuurlijke beweging kennen, namelijk de cirkelvormige beweging der hemellichamen, en hieruit volgt dus dadelijk, dat deze niet kunnen zijn samengesteld uit de aardse elementen aarde, water, lucht en vuur. Er moet dus een vijfde element zijn, waaraan de cirkelvormige beweging van nature, d.w.z. krachtens den substantiëlen vorm, toekomt. Aristoteles betoogt op gronden die we hier niet kunnen weergeven, dat dit vijfde element, de aether of quinta essentia, noch zwaarte noch lichtheid bezit en dat het onvatbaar is voor quantitatieve, qualitatieve en substantiële veranderingen; het kan noch vergaan noch in een der aardse elementen overgaan. Hiermee is een principiële tegenstelling tussen aarde en hemel gevestigd, tussen de aan alle andere wisseling dan de onophoudelijke locale cirkelbeweging onttrokken wereld van sterren en planeten en het ondermaanse rijk, waar niets duurzaams is aan te treffen, waar de dingen ontstaan, veranderen en weer teloor gaan.

e. *Het algemene wereldbeeld*[13]

40. Wij zijn thans in staat, in grote lijnen het algemene beeld te schetsen dat de Stagiriet zich van het heelal vormt. Dit beeld is essentieel geocentrisch van aard: de aarde ligt onbeweeglijk rondom het middelpunt van het heelal en de hemel wentelt gestadig om een door dat middelpunt gaande as.

Toen Aristoteles deze stelling uitsprak, is hij natuurlijk op de hoogte geweest van de andere mogelijkheden voor den bouw van de wereld die door oudere denkers waren overwogen. Hij heeft zeker het wereldbeeld van Philolaos gekend, waarin de aarde rondwentelend werd gedacht om een centraal vuur en wellicht ook dat van Herakleides van Pontos, waarin haar zowel een aswenteling als een beweging in een cirkel werd toegekend. Dat hij deze mogelijkheden verwierp en voor eeuwen de suprematie van het geocentrisch wereldbeeld vestigde, hangt samen met het karakter van volledigheid, dat aan zijn leer eigen is: hij was geen mathematisch astronoom, die, gehoor gevend aan Plato's oproep, de hemelverschijnselen te redden, een stelsel van bewegingen verzon, dat rekenschap kon geven van de waarnemingen en die er zich dan verder niet om behoefde te bekommeren, of en hoe dit stelsel met de natuur der stoffelijke werkelijkheid in overeenstemming was te brengen; hij was een synthetisch denker, die naar een philosophisch verantwoord integraal wereldbeeld streefde en die daarom de kosmologie niet buiten verband met de physica kon beoefenen en beide niet mocht scheiden van de algemene wijsbegeerte.

De overtuiging van de centrale positie van de aarde in het heelal hangt dan ook ten nauwste samen met de andere wezenlijke trekken van zijn stelsel en wel in het bijzonder met de theorie van natuurlijke beweging en natuurlijke plaats en daardoor met de elementenleer. De zware aarde kan zich nergens anders bevinden dan waar ze van nature thuishoort: in het wereldcentrum, dat de natuurlijke plaats van het zware is; zelfs wanneer ze daar te eniger tijd niet geweest zou zijn, zou ze het reeds lang in natuurlijke rechtlijnige beweging (die wegens de eindigheid der wereld niet eeuwigdurend kan zijn) hebben moeten bereiken. Ook kan ze niet in het midden van het heelal om een as wentelen, daar de cirkelbeweging niet strookt met den substantiëlen vorm van een aards element. De dagelijkse hemelbeweging is dus geen afspiegeling van een aardrotatie, maar een echte natuurlijke beweging, voortvloeiend uit de natuur van den aether.

41. Het is van belang, goed acht te slaan op het logische verband dat er tussen de geocentrische leer en de theorie van de natuurlijke plaats bestaat. De eerste is een consequentie van de tweede, niet haar logische grond. Dat wil zeggen: wanneer we een zwaar lichaam, losgelaten, naar de aarde toe zien bewegen, dan geschiedt dat niet, omdat het in den aard

van het zware ligt, zich te verenigen met het geheel waarmee het op grond van zijn samenstelling uit de elementen het meest verwant is, maar omdat de aarde de natuurlijke plaats insluit waar het lichaam op grond van die samenstelling thuis hoort; kon men de proef herhalen, terwijl de aarde naar de maanspheer verplaatst was, dan zou het grave niet naar de aarde vallen, maar, evenals nu, het wereldcentrum trachten te bereiken, waar zijn natuurlijke plaats is; dit doet het *per essentiam*, naar de aarde valt het *per accidens*.

Denken we ons nu, zoals boven reeds eenmaal geschiedde, de wanorde die er altijd in het ondermaanse heerst, vervangen door de volkomen ordelijke rangschikking van de elementen naar zwaarte en lichtheid, dan ontstaat het volgende beeld: om de centraal gelegen bolvormige aarde zijn elf spheren (d.w.z. lichamen die begrensd worden door twee concentrische boloppervlakken) gelegerd, waarvan de binnenste drie, die opv. de elementen water, lucht en vuur bevatten, in rust verkeren, terwijl de buitenste acht, die opv. de planeten Maan, Mercurius, Venus, Zon, Mars, Jupiter, Saturnus en het stelsel der vaste sterren dragen, dagelijks om de hemelas wentelen. Hiermee is de ware toedracht echter nog niet beschreven; immers de planeten danken hun naam juist daaraan, dat zij zich, elk met een eigen periode, ten opzichte van de sterren verplaatsen en er moeten zich dus in elke der zeven planeetspheren nog andere bewegingen afspelen, die deze verplaatsingen ten gevolge hebben.

42. Inzake deze detailstructuur van het planetenstelsel sluit Aristoteles zich aan bij de door den wiskundige Eudoxos van Knidos ontwikkelde theorie, die in de geschiedenis der astronomie bekend staat als de theorie der concentrische spheren. In deze eerste poging om te voldoen aan den door Plato gestelden eis, de verschijnselen der planetenbeweging te redden door een stelsel van eenparige cirkelbewegingen, wordt elk der planeten Saturnus, Jupiter, Mars, Venus en Mercurius rondgevoerd door een groep van vier spheren, waarvan telkens elke volgende in de beweging der voorafgaande deelt en waarvan de eerste de dagelijkse rotatie teweegbrengt, de tweede de eigenbeweging langs den dierenriem, terwijl de derde en de vierde de lussen in de banen veroorzaken. Zon en Maan zijn elk aan drie van zulke wentelingen onderworpen; bij de zon is er een nodig voor de dagelijkse en een voor de jaarlijkse beweging, terwijl de derde een denkbeeldige beweging in breedte moet redden; bij de maan worden opv. de dagelijkse en de maandelijkse beweging en het teruglopen van de knopenlijn veroorzaakt. Voor de zeven planeten zijn dus totaal 4 + 4 + 4 + 3 + 4 + 4 + 3 = 26 spheren nodig, waarbij de spheer der vaste sterren als 27e komt. De assen waarom de verschillende spheren draaien en de omwentelingstijden moesten zo gekozen worden, dat de verschillende te redden verschijnselen ook quantitatief konden worden weergegeven; in hoeverre dat gelukt is, kunnen we slechts op grond van hypothetische reconstructie vermoeden. Vast staat echter wel, dat Kallippos, om een

betere aansluiting aan de waarneming te krijgen, het aantal spheren voor elk der planeten Mars, Venus, Mercurius met één en dat voor Zon en Maan elk met twee heeft moeten vermeerderen, zodat hij 33 planeetspheren nodig had. Aristoteles neemt deze correctie over, maar ziet zich verplicht, het aantal spheren nogmaals te vergroten. Hij acht het namelijk nodig, telkens het meeslepend effect van een meer naar buiten gelegen spherenstelsel op de daardoor omvatte op te heffen door z.g. compenserende spheren, waarvan het aantal telkens een minder is dan dat van de voorafgaande groep (de dagelijkse rotatie mag namelijk wel naar binnen worden overgedragen); dit leidt tot inschakeling van 22 spheren en brengt het totale aantal op 55. Volgens een door Sosigenes uitgeoefende kritiek zou het doel reeds met 49 spheren bereikt hebben kunnen worden.

Het kenmerkende van deze theorie der concentrische spheren, dat haar principieel van een latere Griekse planetentheorie (I: 69 vlg.) onderscheidt, is, dat zij geen andere bewegingen van hemellichamen erkent dan wentelingen om assen door het wereldcentrum.

Het verdient nog opmerking, dat bij een globale weergave van het Aristotelische wereldstelsel vaak van de detailstructuur van het planetenstelsel wordt afgezien, zodat er dan van slechts acht hemelspheren sprake is, zeven voor de planeten en een, die als achtste genummerd wordt, voor de vaste sterren. Later worden buiten die achtste spheer nog weer andere aangenomen, terwijl het totale aantal natuurlijk ook groter wordt wanneer men de spheren der ondermaanse elementen meerekent.

Op het gebied der mathematische astronomie blijkt Aristoteles dus geheel den weg te volgen dien Plato gewezen en Eudoxos als eerste bewandeld had. Deze overeenstemming tussen de twee meest invloedrijke denkers der Oudheid, die elkaar overigens op zovele punten tegenspreken, heeft voor de geschiedenis der astronomie gewichtige gevolgen gehad. Het axioma van de eenparigheid en cirkelvormigheid van de bewegingen der hemellichamen, dat Plato op mathematische en religieuse gronden had opgesteld, was door Aristoteles met physische argumenten ondersteund en tot wezenlijk bestanddeel van zijn wereldstelsel gemaakt; door twee zo indrukwekkende denkers eenstemmig uitgesproken, moest het boven allen twijfel verheven lijken. De astronomie heeft er dan ook voor het begin van de 17e eeuw niet van durven afwijken en is toen eerst noodgedwongen tot deze meest revolutionnaire wijziging van het antieke wereldbeeld overgegaan.

43. In verband met het algemene beginsel der Aristotelische wijsbegeerte, dat iedere beweging een motor onderstelt, rijst natuurlijk de vraag, welke de bewegers zijn die de wentelingen der hemelspheren teweegbrengen.

Aristoteles volgt Plato niet in de opvatting, dat de planeten levende wezens, goden, zijn, die zich uit eigen kracht bewegen. Echter komt hij op grond van de eeuwigheid en onveranderlijkheid der hemelbewegingen

wel tot de conclusie, dat de bewegers der planeetspheren immateriële substanties moeten zijn, die, geheel act en zonder enige potentie, zelf niet in beweging kunnen verkeren; zij zijn er voor de planeten dus ten getale van vijfenvijftig.

Voor de beweging van de achtste spheer wordt tenslotte het bestaan van een hoogsten immateriëlen Eersten Beweger aangenomen. Deze brengt die spheer echter niet in beweging door zelf iets te doen; dat zou strijden met het feit, dat Hij actus purus is en dus niets meer te verwerkelijken heeft; de volkomen actualiteit moet in volstrekte inactiviteit bestaan. Hij beweegt echter de achtste spheer, zoals de Aristotelische formule luidt, ὡς ἐρώμενον[14], als bemind, d.w.z. de beweging is het gevolg van de liefde die de materie van de achtste spheer Hem toedraagt, van de begeerte naar volmaaktheid die Hij in haar opwekt. Dit is in overeenstemming met de algemene Aristotelische opvatting, dat de materie streeft naar den vorm; zij is niet zo passief als het soms wel lijken kan; door de hele wereld heen gaat een streven naar hogere volmaaktheid, waarvan de Eerste Beweger het uiteindelijk doel vormt. Dit streven geeft aanleiding tot een hierarchisohe ordening in de lichamen (elementen, mineralen, planten, dieren, de mens). Het komt in den mens tot een eindpunt, omdat de stof hier verenigd wordt met den volkomensten vorm, waarvoor zij vatbaar is, de ziel.

In de beschouwing van de immateriële bewegers van de hemelspheren zien we de astronomie van Aristoteles overgaan in wat die van Plato van het begin af geweest was, een rationele theologie, die ons langs redelijken weg inlicht over de goddelijke intelligenties en hun onderlinge hierarchie. 44. Onze schets van het Aristotelische wereldbeeld vereist met het oog op het juiste inzicht in de latere ontwikkeling van het denken over de natuur nog een aanvulling over het causale verband tussen de hemelbewegingen en de gebeurtenissen in het ondermaanse. Na wat boven (I: 39) gezegd is over de volstrekte tegenstelling tussen aarde en hemel en op grond van hun geheel onderscheiden ligging in het heelal, kan het lijken, alsof zulk een verband in het geheel niet kan bestaan. Toch is dit niet het geval. Op een of andere wijze - naar de ware toedracht moet men niet vragen - hangen de aardse bewegingen van de hemelse af; de eindeloze wentelingen des hemels roepen de eveneens niet tot rust komende rechtlijnige bewegingen van de aardse elementen in het leven, die aan alle ontstaan, veranderen en vergaan ten grondslag liggen. Nu verlopen deze processen niet alle in eenzelfde richting; er is ontstaan en vergaan, vermeerdering en vermindering in quantiteit, versterking en verzwakking in qualiteit. En daar tegengestelde effecten tegengestelde oorzaken moeten hebben, kan het niet alleen de wenteling van de achtste spheer zijn, die de aardse bewegingen opwekt en in stand houdt; er wordt nog een tweede principe vereist en dit bestaat uit de aan de dagelijkse hemelwenteling tegengesteld gerichte bewegingen van zon, maan en planeten door den

dierenriem. De dagelijkse wenteling is de grond van de eeuwigheid der ondermaanse processen, de beweging in den dierenriem die van hun verscheidenheid. Zo wordt alles wat hier gebeurt van ginds uit bestuurd.

Deze opvatting zal in latere tijden een van de sterkste argumenten voor het bestaansrecht der astrologie worden. Aristoteles zelf trekt er geen enkele conclusie uit in strikt-astrologischen zin, d.w.z. op het stuk van karakterbepaling of toekomstvoorspelling voor den mens. Wel wordt ze voor hem het uitgangspunt voor de aanvaarding van de voor hem reeds verkondigde en na hem nooit weer vergeten theorie van het periodieke karakter van het wereldgebeuren. Wanneer het Grote Jaar verstreken zal zijn, dat het kleinste gemene veelvoud is van alle omloopstijden van hemelse wentelingen, zal mèt al wat aan den hemel is ook al het ondermaanse terugkeren tot zijn oorspronkelijken toestand. Daarna zal alles zich herhalen, niet alleen in het stoffelijke, maar ook in het geestelijke: dezelfde natuurverschijnselen zullen zich afspelen en dezelfde philosophieën zullen worden verkondigd. Deze periodiciteit moet echter niet worden verstaan in den zin van een afwisselende vernietiging en herleving van het heelal, zoals Herakleitos en Empedokles die hadden aangenomen en de Stoa haar weer geloven zal (I: 52); dat ware in strijd met de onvergankelijkheid van de hemelse substanties.

f. *Het plaatsbegrip en de onmogelijkheid van het vacuum*[15]

45. Een met het oog op de latere ontwikkeling van het denken belangrijk onderwerp van de Aristotelische wijsbegeerte wordt gevormd door de beschouwingen die de Stagiriet aan het begrip plaats wijdt en die tot verschillende localisatietheorieën aanleiding zullen geven.

Hij begint met de plaats van een lichaam te definiëren als de binnenste grens van het omvattend lichaam (*ultimum continentis*): de plaats van den wijn in een vat is de binnenkant van het vat. Dat leidt echter direct tot moeilijkheden in verband met het begrip van locale beweging, die, zoals ook wel vanzelfsprekend lijkt, zonder meer met plaatsverandering wordt geidentificeerd. Immers een schip dat in stromend water voor anker ligt, zou dan in beweging moeten zijn, omdat het, telkens door ander water omringd, voortdurend een andere plaats krijgt. Descartes zal later deze conclusie geredelijk aanvaarden. Aristoteles verwerpt haar echter en preciseert daartoe zijn plaatsdefinitie nader: plaats is de eerste onbeweeglijke grens van het omvattende, in het geval van het schip in een rivier de oevers en de bedding daarvan.

De plaatsbepaling van een lichaam vereist dus in laatste instantie een omgeving waarvan de onbeweeglijkheid vaststaat; voor de ondermaanse lichamen wordt deze gevormd door het wereldcentrum (op te vatten als een onbeweeglijk centraal lichaam) en de binnenkant van de maanspheer (die wel rondwentelt, maar als geheel niet van plaats verandert). Er treden

echter moeilijkheden op, wanneer men de plaats wil gaan bepalen in het hemelse gebied en wel speciaal wanneer het om de localisatie van de achtste spheer gaat. Deze wordt namelijk door niets omgeven; er is zelfs geen lege ruimte buiten, want dit zou iets zijn, dat, zo het al geen lichamen bevat, er toch zou kunnen bevatten, terwijl buiten het heelal, dat de totaliteit van al het stoffelijke vormt, geen lichamen meer kunnen bestaan; de achtste spheer is dus niet in een plaats, kan dus ook niet van plaats veranderen en toch moet ze zich onophoudelijk bewegen.

Het ziet er naar uit, alsof de localisatietheorie van Aristoteles hier op een onoplosbare contradictie vastloopt. De Stagiriet laat zich hierdoor echter niet ontmoedigen: gebruik makend van een later door de Scholastiek virtuoos gehanteerden kunstgreep, voert hij een *distinctio* in: de achtste spheer moge in eigenlijken zin niet in een plaats zijn, in oneigenlijken zin (πῶς) is ze het toch wel en dat is voldoende om haar beweging te kunnen handhaven; ieder deel van de spheer is door andere omgeven, die gezamenlijk als zijn plaats fungeren; de spheer als geheel is daardoor in een plaats per accidens (κατὰ συμβεβηκός).

Het is duidelijk, dat hiermee geen afdoende oplossing van de kwestie verkregen is, want door de met de spheer mee bewegende delen ervan als plaats te laten fungeren, heeft men nu het kenmerk van onbeweeglijkheid moeten opofferen. Het probleem van de localisatie van de achtste spheer is dan ook altijd een der grote struikelblokken gebleven die de commentatoren in Oudheid en Middeleeuwen op hun weg aantroffen. Wat de laatsten erover gezegd hebben zal ons te zijner tijd (II: 105 vlg.) nog bezig houden; ter voorbereiding daarvan moet hier echter in het kort iets worden meegedeeld over de pogingen die door antieke commentatoren zijn aangewend, om tot een meer bevredigende oplossing te komen.

46. Alexander van Aphrodisias erkent, dat de achtste spheer niet in een plaats is, maar ziet daarin geen bezwaar: de rotatie van een bol is geen locale beweging, omdat de bol als geheel niet van plaats verandert.

Themistios meent, dat, hoewel de plaats van een ding in het algemeen dat ding omringt, de achtste spheer van binnen uit gelocaliseerd kan worden. De plaats van de achtste spheer - eveneens een plaats per accidens - is de Saturnusspheer.

Philoponos vat het gehele localisatiebegrip heel anders op dan Aristoteles. De plaats van alle physische dingen is de ruimte met haar drie afmetingen, die, hoewel in feite niet te scheiden van de lichamen die haar vullen (een actueel vacuum is volgens hem onmogelijk), daarvan door het denken evengoed onderscheiden kan worden als de materie van den vorm. De ruimte is zowel als geheel als in haar delen onbeweeglijk en voldoet dus aan den eis dien Aristoteles aan de plaats gesteld had. Tussen locale beweging en qualitatieve verandering bestaat een strikte analogie: zodra een lichaam een plaats verlaat, komt een ander die innemen; zodra een vorm in de materie te niet gaat, komt er een andere voor in de plaats.

De mening van Philoponos is kort weer te geven door te zeggen, dat volgens hem de plaats het gedachte vacuum is.

Een verwante oplossing is die van Proklos, die de plaats identificeert met het licht, dat de gehele wereld als het onbeweeglijke ene vult. In een later stadium der physica zijn deze beide theorieën verenigd tot een enkele, waarin de aether als localisatiemedium fungeert.

Opmerkelijk is nog de theorie van Damaskios, die, naar analogie van de Aristotelische definitie van tijd als het getal van een beweging volgens het eerdere en latere, plaats omschrijft als het stel meetkundige grootheden, die de ligging van een lichaam bepalen. Ligging treedt hierbij als ongedefinieerd begrip op en Damaskios doet geen poging het te verduidelijken. Wellicht kunnen we zijn gedachtengang als volgt benaderen: wanneer tijdens een beweging een zandloper of een klepshydra loopt, hoort bij elke phase der beweging een getal, dat de hoeveelheid sedert het begin der beweging uitgestroomd water of zand aangeeft; dit getal heet de tijd; men kan het meten zonder te zeggen wat beweging is. Beschouw nu een rustend lichaam en meet zoveel afstanden tot de wanden van het vertrek waarin het zich bevindt, als voldoende zijn om het lichaam vast te leggen. De verzameling van deze getallen heet de plaats (τόπος, *locus*); men kan haar vaststellen zonder te zeggen wat ligging (θέσις, *positio*) beduidt.

Dat bij het meten van een tijd een concrete klok, bij het bepalen van een plaats een concreet beschrijvingsraam gebruikt zou worden, zou voor een Grieks physicus te relativistisch gedacht zijn. Hij denkt zich de klok als een idealen zandloper, die van eeuwigheid tot eeuwigheid doorloopt en neemt voor de plaatsbepaling een eeuwig onbeweeglijke ideale omgeving. Om deze te vinden, denken we ons alle lichamen in het heelal teruggebracht tot de plaats die er van nature aan toekomt. Laat een einde gekomen zijn aan alle valbewegingen van zware en stijgbewegingen van lichte lichamen; laat alle elementen zich gerangschikt hebben in de vier concentrische spheren die zich van het aardcentrum tot de maanspheer uitstrekken en ge hebt het natuurlijke beschrijvingsraam, waarop alle plaatsbepaling betrokken is.

Men moet zich dus binnen de achtste spheer tegelijk met het reële heelal ook het ideale heelal denken, waarin alles op zijn plaats is. De plaats van een lichaam in zijn actuele positie is nu het stelsel grootheden die zijn verplaatsing uit zijn ideale positie bepalen.

De theorie is in zoverre verwant met die van Philoponos en Proklos, dat in alle drie sprake is van twee coïncidente bollen, waarvan de ene het werkelijke materiële heelal is; de andere is volgens Philoponos het vacuum, volgens Proklos het licht, volgens Damaskios het ideaal geordende heelal.

Thans terugkerend tot Aristoteles zelf spreken we over de belangrijke toepassing van zijn plaatsbegrip in de behandeling van de vraag of een lege ruimte mogelijk is.

47. Aristoteles bestrijdt deze mogelijkheid met hartstocht. Dat is niet verwonderlijk; de onderstelling van het bestaan van een lege ruimte, van het zijn van het niet-zijnde der Eleaten, vormde den grondslag van het Atomisme en er moest den Stagiriet dus alles aan gelegen zijn, dit stelsel, dat hem om zijn materialistische strekking heftig moet hebben tegengestaan, van dien grondslag te beroven. Een eerste argument er tegen ontleent hij aan het plaatsbegrip: een (begrensde) lege ruimte zou een omgeving onderstellen, waarin wel lichamen geplaatst zouden kunnen worden, maar waarin zich toch geen lichamen bevinden, een *locus sine corpore locato*, en dat is een logische contradictie. Een vacuum is dus iets ondenkbaars, het zou iets moeten zijn als iets overtreffends zonder iets dat overtroffen wordt, als een vader zonder kind, een drank die niet gedronken, een gevoel dat niet gevoeld kan worden.

Aan dit logische argument voegt Aristoteles nog verscheidene andere van physischen aard toe. In een (onbegrensde) lege ruimte vervalt iedere mogelijkheid, een plaats of een richting te bepalen; het ene punt is niet van het andere te onderscheiden, geen richting kan de voorkeur genieten boven een andere. Een lichaam, in zulk een ruimte geplaatst, zou om redenen van symmetrie nooit in beweging kunnen komen; eenmaal in beweging verkerend, zou het echter nooit weer rust kunnen vinden, want waarom zou het eerder hier dan ginds zijn beweging beëindigen? Al deze dingen zijn in volstrekten strijd met de Aristotelische gedachte van een begrensde wereld, die in haar onbeweeglijk centrum en haar als geheel onveranderlijke bolvormige omhulling het vaste beschrijvingsraam bezit, ten opzichte waarvan plaats en beweging der lichamen ondubbelzinnig zijn vast te leggen. Tussen het denkbeeld van deze begrensde gestructureerde wereld der Aristotelische physica en dat van de oneindige homogene ruimte der wiskundigen, waarin de Atomisten de atomen hun intrek laten nemen en hun bewegingen laten uitvoeren, is geen verzoening mogelijk.

Nog niet voldaan over zijn argumentatie komt Aristoteles met nieuwe bezwaren: in een lege ruimte zou geen weerstand tegen beweging bestaan en dus zou wegens de omgekeerde evenredigheid van valsnelheid en dichtheid van het medium de val instantaan moeten verlopen, d.w.z. het vallend lichaam zou op hetzelfde ogenblik waarop de val begint, ook reeds het eindpunt moeten bereiken. Alle lichamen zouden er, volgens een stelling die hij aan de Atomisten toeschrijft, evensnel moeten vallen, maar hoe zou dit te rijmen zijn met de in de valwet uitgesproken evenredigheid tussen gewicht en valsnelheid? En hoe zou verder een worpbeweging kunnen plaats hebben, als er geen medium is, dat als motor conjunctus kan werken? En wanneer ten slotte de Atomisten het bestaan van lege ruimte tussen de atomen menen te moeten aannemen om de verschijnselen van verdichting en verdunning begrijpelijk te kunnen maken en plaats te vinden voor de atoombewegingen, waarin volgens hen het wezen bestaat van alles wat de onbevangen waarnemer als ontstaan en vergaan en

qualitatieve verandering beschouwt, dan betwist de Stagiriet hun ook deze noodzaak: zijn eigen begrip van potentie en act biedt hier alle gewenste verklaringsprincipes.

Hoewel Aristoteles in den regel zonder nadere bepaling over het vacuum spreekt, kunnen we in zijn beschouwingen reeds de later gebruikelijke onderscheiding aantreffen tussen het z.g. *vacuum intermixtum* of *disseminatum* (παρεσπαρμένον κενόν), dat zich volgens de Atomisten tussen de atomen bevindt en dat dus voor waarneming even onvatbaar is als deze zelf en het *vacuum coacervatum* (ἄθροον κενόν), waaronder een ruimte wordt verstaan van waarneembare eindige of zelfs van oneindige afmetingen, waarbinnen in het geheel geen atomen zouden voorkomen. We zullen deze onderscheiding in het vervolg kortheidshalve tot uitdrukking brengen, door in het eerste geval van een mikrovacuum, in het tweede van een makrovacuum te spreken.

In het oog van Aristoteles zijn ze beide even ondenkbaar. Echter berust, zoals uit het bovenstaande kan blijken, dit oordeel niet op het vaststellen van een inwendige contradictie in de atomistische leer of van strijdigheid van haar consequenties met de ervaring, maar alleen op de onverenigbaarheid van de bestreden zienswijze met zijn eigen principieel anders geaarde theorieën. De enige uitzondering hierop vormt het betoog van de onmogelijkheid van een absolute bepaling van plaats en richting in een oneindige homogene ruimte. Overigens is de gehele bestrijding meer emotioneel dan logisch van aard, meer uitdrukking van zelfhandhaving dan weerlegging.

g. *De leer der vier oorzaken en het doelbegrip*

48. We hebben in het bovenstaande speciaal die zijden van het stelsel van Aristoteles behandeld die voor het onderwerp van dit werk het meest van belang zijn. Daartoe moesten we onze aandacht voornamelijk richten op zijn physische, chemische en astronomische theorieën, terwijl we zowel het zuiver wijsgerige als het biologische buiten beschouwing moesten laten. Dit heeft o.m. ten gevolge gehad, dat tot dusver een begrip dat in het Aristotelische denken een overheersende positie inneemt, geheel onvermeld is gebleven, nl. het begrip doel.

Het staat wellicht in verband met zijn sterke belangstelling in de levende natuur, waar hij voortdurend gelegenheid had, de doelmatige inrichting van het levend organisme op te merken, dat bij hem het doelbegrip ook bij de behandeling van de levenloze natuur, waaruit het eenmaal door meer mechanistisch ingestelde beschouwingswijzen geheel verdrongen zou worden, zo sterk op den voorgrond treedt.

Dit komt nergens duidelijker tot uiting dan bij de bespreking van het begrip oorzaak, waarbij hij naast de *causa materialis* (stofoorzaak; de stof waaruit iets wordt), de *causa formalis* (vormoorzaak; de te verwezenlijken

vorm) en de *causa efficiens* (werkoorzaak; datgene wat het gebeuren in feite bewerkt) ook de *causa finalis* (doeloorzaak; het te verwezenlijken doel) noemt. We kunnen voor een concrete toelichting weer aan het boven reeds gebruikte voorbeeld van het houwen van een beeld denken: het marmerblok waaruit het gehouwen zal worden, is stofoorzaak; de vorm die den beeldhouwer bij zijn werk voor den geest zweeft, vormoorzaak; de kunstenaar zelf, door bemiddeling van zijn instrumenten, werkoorzaak; de bestemming van het voltooide beeld doeloorzaak. Natuurlijk kan de doeloorzaak identiek zijn met de vormoorzaak, namelijk als de beeldhouwer de theorie van l'art pour l'art huldigt.

Het is duidelijk, dat de eerste drie oorzaken het gebeuren in de wereld niet ondubbelzinnig bepalen: ze geven er geen stuur en richting aan; uit een korenaar zou eventueel een olijf kunnen groeien. De eerste drie corresponderen met de drie aspecten van een substantie, die men als stof, vorm en vormverwerkelijking (ἐνέργεια) kan onderscheiden, de vierde echter met het feit, dat de substantie door haar bestaan niet alleen een vorm in een stof verwerkelijkt, maar tevens de realisering van een doel beduidt. Dit aspect wordt aangeduid met den naam ἐντελέχεια (entelechie), die echter vaak promiscue met ἐνέργεια gebruikt wordt. Dit is natuurlijk met het oog op de nauwe relatie tussen vorm- en doeloorzaak (in den regel is vormverwerkelijking tevens doelverwerkelijking) niet verwonderlijk. Zo luidt de oorspronkelijke vorm van de bewegingsdefinitie, die we in I: 25 in den Latijnsen vorm: *motus est actus entis in potentia secundum quod in potentia est* weergaven, op de ene plaats[16]: Ἡ τοῦ δυνάμει ὄντος ἐντελέχεια, ᾗ τοιοῦτον, κινησίς ἐστιν en op de andere[17]: την του δυνάμει, ᾗ τοιοῦτον ἐστιν, ἐνέργειαν λέγω κίνησιν. En we kunnen de formule thans als volgt in onze taal weergeven: Beweging is de vorm- of doelverwerkelijking van het potentieel zijnde, beschouwd in zijn potentie tot dezen vorm of zijn geschiktheid tot dit doel.

We merken nog op, dat bij locale beweging vorm- en werkoorzaak kunnen samenvallen: zo is bij den val het streven naar de natuurlijke plaats, dat in den substantiëlen vorm van het grave ligt, tevens causa movens. De natuurlijke plaats zelf is doeloorzaak.

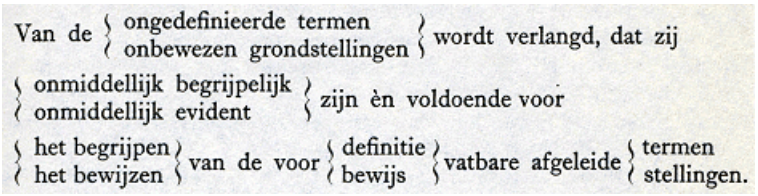
h. *De algemene wetenschapsleer*[18]

49. De invloed dien Aristoteles op het natuurwetenschappelijk denken heeft uitgeoefend, is niet alleen het gevolg geweest van de bestudering van zijn werken op het gebied van metaphysica, physica en astronomie. Hij heeft namelijk in de verzameling van zijn logische geschriften, die onder den naam *Organon* pleegt te worden samengevat, algemene kentheoretische beschouwingen gehouden over de eisen waaraan een bewijzende wetenschap moet voldoen, die bij de vernieuwing van het natuurwetenschappelijk denken in de 16e en 17e eeuw in stede van mèt

zijn denkbeelden over de natuur te worden bestreden en verguisd, juist als leidraad en richtsnoer schijnen te hebben gediend bij de fundering van de mechanica en de daarop berustende physica.

Een bewijzende wetenschap in Aristotelischen zin - zo kunnen wij zijn verspreide beschouwingen kort samenvatten - is een stelsel van uitspraken over een bepaald onderwerp dat aan de volgende eisen voldoet:

De in de formulering der beweringen gebruikte termen zijn te verdelen in ongedefinieerde grond- en definieerbare afgeleide termen. De beweringen zelf zijn òf onbewezen grondstellingen òf bewijsbare afgeleide stellingen.


Van de { ongedefinieerde termen / onbewezen grondstellingen } wordt verlangd, dat zij
{ onmiddellijk begrijpelijk / onmiddellijk evident } zijn èn voldoende voor
{ het begrijpen / het bewijzen } van de voor { definitie / bewijs } vatbare afgeleide { termen / stellingen.

Men kan deze twee eisen opv. aanduiden als het begrijpelijkheids- en het evidentiepostulaat. De grondstellingen moeten bovendien nog noodzakelijkheidsbeweringen zijn, d.w.z. men moet niet slechts hun geldigheid, maar ook de noodzakelijkheid van hun gelding evident vinden.

Het is duidelijk, dat deze conceptie van den axiomatischen opbouw van een gebied van wetenschap geïnspireerd is op de wiskunde. In de oudheid heeft zij op natuurwetenschappelijk gebied toepassing gevonden in de fundering van de statica door Archimedes; bij het ontstaan van de klassieke physica zullen wij haar opnieuw ontmoeten. Zo blijkt zelfs Aristoteles, die overigens, in tegenstelling tot de Pythagoraeërs, de Atomisten en Plato, het amathematisch element in de geschiedenis der natuurwetenschap vertegenwoordigt, tot haar mathematisering te hebben bijgedragen.

F. Het Stoicisme[19]

50. Het Stoicisme is een philosophische stroming met verscheidene vertakkingen, die zich over ettelijke eeuwen uitstrekt (de z.g. oude Stoa wordt ca. 300 v. Chr. door Zenoon van Kition gesticht, de middelste, waaraan de namen van Panaitios en Poseidonios verbonden zijn, begint ca. 150 v. Chr. en duurt tot ca. 100 na Chr. en daarna volgt nog tot ca. 200 na Chr. het neo-Stoicisme); daarbij gaat haar belangstelling niet in de eerste plaats naar de natuurphilosophie uit, maar voor alles naar de ethica. Dit maakt het deels onmogelijk, deels overbodig om aan de boven gegeven schetsen van het Atomisme en van de natuurwetenschappelijke kanten van het Platonisme en het Aristotelisme een even

uitvoerige van het Stoicisme toe te voegen. We moeten volstaan met de vermelding van enkele karakteristieke gedachten over de natuur, die in de oude of de middelste Stoa zijn uitgesproken en die op een of andere wijze van betekenis zijn geweest voor de lotgevallen der physica.

De natuurleer der Stoa steunt op de materialistische opvatting, dat alleen stoffelijke lichamen werkingen kunnen uitoefenen of ondergaan en wel slechts in direct onderling contact, waaruit dadelijk volgt, dat ook de menselijke ziel en haar vermogens en de qualiteiten en eigenschappen der physische lichamen stoffelijk zijn. Wanneer men deze beweringen zonder nadere toelichting verneemt, moet men wel den indruk krijgen, dat de wereldbeschouwing der Stoa nauw verwant moet zijn met die van het Atomisme, waardoor het dan echter raadselachtig zou worden, waarom zij de in haar oudste phase juist opkomende philosophische richting der Epicuraeërs, die in natuurwetenschappelijk opzicht de voortzetters van het werk van Leukippos en Demokritos waren, zo fel gehaat en bestreden heeft.

Inderdaad verandert een nadere toelichting heel veel aan den aanvankelijken indruk, zo veel zelfs, dat men soms een geheel tegenovergestelde zienswijze kan menen te horen uiteenzetten, een dualistische inplaats van een materialistisch monistische; het is goed, zich er van het begin af van te doordringen, dat de laatste karakterisering niettemin geldig blijft.

51. De Stoa erkent namelijk als eerste gronden van alle dingen twee oerprincipes, die men, hun omschrijving vernemend, geneigd kan zijn als ziel en lichaam of als kracht en stof dualistisch tegenover elkaar te plaatsen. Het ene is een actief principe, dat in het groot Wereldrede (Λόγος), religieus uitgedrukt Πρόνοια (Voorzienigheid), astrologisch Εἱμαρμένη (Lot), mythologisch Zeus heet; dat als immanente doelmatigheid en redelijke wettelijkheid der Natuur werkt en dat in het klein de lichamen doordringt als redelijke kiemkracht (λόγος σπερματικός) en er spanning, levenskracht (τόνος) aan verleent; het andere is passief van aard, het is de zuivere qualiteitloze oerstof of eerste hyle (πρώτη ὕλη), die nog niets bepaalds is, maar vatbaar voor alle vorming.

De onderscheiding doet ook denken aan die van vorm en prima materia bij Aristoteles; echter kunnen de Stoicijnse principes elk zelfstandig bestaan, terwijl de Aristotelische alleen door het ontledend denken in de substantie onderscheiden kunnen worden; en vooral: het ene is zo stoffelijk als het andere: de Logos is alleen een veel fijnere stof dan de Hyle, een warme levenwekkende adem, een uiterst fijne gasstroom (πνεῦμα), een met scheppingskracht begaafd vuur (πῦρ τεχνικόν of νοερόν), dat niet verward moet worden met het empirische vuur (πῦρ ἄτεχνον), dat verteert en vernielt.

Het actieve principe kan nu het passieve doordringen en wel in den letterlijken zin van een volstrekte compenetratie, dus niet op de wijze van een mechanische menging, waarin de bestanddelen naast elkaar

blijven liggen, of een chemische binding, waarbij één nieuwe stof ontstaat. Bij die doordringing kan de oerstof een der vier eerste qualiteiten warm, koud, vochtig, droog opnemen, waarbij zij overgaat in een der vier elementen, die dus elk uit de oerstof en een der qualiteitsmateries bestaan. Is de opgenomen qualiteit droogte of vochtigheid, dan ontstaan opv. de passieve elementen aarde en water, die een geringe spanning of tonos hebben en waarin dus het hyle-karakter overheerst. Het koude en het warme vervormen de oerstof opv. tot lucht en vuur, de twee actieve elementen met hogen tonos en overheersend pneuma-karakter. De passieve elementen zijn van lagere orde dan de actieve en grover dan deze; zij verhouden zich tot hen als stof tot kracht, als lichaam tot ziel. Uit de elementen kunnen weer andere stoffen ontstaan, die elk hun eigen graad van toniciteit hebben.

Alles blijft dus materieel; echter wordt het onderscheid in tonos zo op de spits gedreven, dat wat als gradueel verschil bedoeld is, op een essentieel verschil begint te gelijken en het monisme telkens dualistische allures aanneemt.

52. Dit is in mindere mate het geval, wanneer de gehuldigde voorstelling deze is, dat de wereld is ontstaan door een verzwakking van den tonos van een deel van het oervuur (het πῦρ τεχνικόν) of den aether; dit ging daarbij eerst in lucht en daarna in water over; hieruit kwam enerzijds de aarde voort, die zich in het centrum plaatste, anderzijds door verdamping de regionen van lucht en vuur en de hemelspheren, waarin daarna de aether zich in kernen, de hemellichamen, concentreerde. Tegenover dit voortkomen van de wereld uit het oervuur (διακόσμησις) staat het omgekeerde proces, de ἐκπύρωσις, waarin alles weer den hogen tonos van het oervuur aanneemt en weer daarin opgenomen wordt. Deze twee processen wisselen elkaar af met constante tijdsintervallen, waarvoor zeer uiteenlopende waarden (variërend van 2484 tot 3.600.000 jaar) worden opgegeven. Zo blijkt dus de Stoa het oude, aan Babyloniërs en Grieken gemeenschappelijke denkbeeld van de periodiciteit van de wereld (ἀποκατάστασις) te aanvaarden; ze doet het zelfs met gretigheid, omdat het strookt met haar overtuiging van de redelijke wettelijkheid van het natuurgebeuren. Meningsverschil bestaat alleen over de details. Sommigen nemen aan, dat de vernietiging van de wereld afwisselend bestaat in ἐκπύρωσις en een opgaan in het water (κατακλυσμός), waarbij het eerste zou optreden wanneer alle planeten elkaar in Cancer ontmoeten, het tweede wanneer ze dit in Capricornus doen. Ook twist men er over, of de palingenesis van de wereld, haar wedergeboorte, zo zal verlopen, dat er numerieke of zo, dat er slechts specifieke identiteit tussen haar bewoners in de opvolgende perioden zijn zal, of dus iedere ziel weer hetzelfde lichaam zal bewonen, Herakles weer de twaalf Werken zal verrichten en Plato weer in de Akademeia zal doceren, of dat slechts gelijksoortige gebeurtenissen zich zullen herhalen.

53. Hoe dit alles ook gezien wordt, fundamenteel blijft voor Stoicijnen de gedachte, dat de gehele wereld een geordende kosmos is, die beheerst wordt door een principe van redelijkheid en wettelijkheid. Niets is, zoals bij de Atomisten, overgelaten aan het blinde toeval, dat de bewegingen der atomen beheerst. De Wereldrede kent als Logos alle komende gebeurtenissen, weet als Voorzienigheid van te voren, op welk tijdstip ze zullen plaats hebben en doet ze als Lot op het bepaalde tijdstip voorvallen. Aan die Wereldrede heeft echter de mens in zijn ziel wezenlijk deel; zijn ziel is dat deel der Wereldrede dat zijn lichaam doordringt. Daaraan zitten consequenties van fundamenteel belang op het gebied der ethica vast, waarop we hier niet zullen ingaan, maar ook heeft het de overtuiging ten gevolge, dat het kennen van de toekomst voor den mens niet principieel uitgesloten behoeft te zijn. Daarom aanvaardt de Stoa van ganser harte de verschillende vormen van mantiek of divinatie (waarzeggerij) en daarom vormt haar wijsbegeerte ook zulk een vruchtbaren voedingsbodem en krachtigen rechtvaardigingsgrond voor de astrologie.

Wij zullen in een afzonderlijke paragraaf nog terugkomen op deze en andere vormen van natuurbeschouwing, die tegenwoordig weliswaar niet meer als takken van wetenschap worden erkend, maar die eertijds als legitieme en essentiële delen van de studie der natuur zijn beschouwd en als zodanig de ontwikkeling der natuurwetenschap mede hebben beinvloed. Hier merken we alleen nog op, dat de astrologie van het ogenblik af, dat ze in Griekenland bekend is geworden (ca. 300 v. Chr.) zich harmonisch bij het geheel der wijsgerige wereldbeschouwing heeft kunnen aanpassen; het was immers bij de overgrote meerderheid der wijsgeren altijd als een uitgemaakte zaak beschouwd, dat de hemellichamen hetzij goddelijke wezens zijn, hetzij door zulke wezens bewogen worden en dat de gebeurtenissen in het ondermaanse door hen worden geleid en bestuurd. De Stoa trekt van deze gedachte de volle consequentie, wanneer zij het door Plato aan de orde gestelde mathematisch-astronomische probleem, de onregelmatigheden der planetenbeweging te verklaren door combinaties van eenparige cirkelbewegingen, als overbodig ter zijde schuift: de goddelijke wezens die zich als planeten aan ons vertonen, vinden uit eigen kracht en op grond van eigen inzicht in de kosmische orde de banen die hun in het wereldstelsel zijn toegemeten.

Een dergelijke beschouwingswijze moge religieus bevredigend zijn geweest, voor het ontstaan van een mathematische natuurwetenschap, zoals den Pythagoraeërs en Plato voor ogen had gezweefd, was zij niet bevorderlijk. De uitschakeling van de wiskunde als kenmiddel, die haar karakteriseert, wordt mede geïllustreerd door het feit, dat de Stoa, die in het algemeen geneigd is tot een ver doorgevoerde vereenvoudiging van het wijsgerig denken, het aantal categorieën (zijnswijzen), dat bij Aristoteles tien had bedragen, tot vier heeft teruggebracht en dat daaronder de categorie van de quantiteit niet meer voorkomt; zij erkennen

naast de fundamentele categorie der substantie alleen die van de essentiële qualiteit, die van de accidentele qualiteit en die der relatie.

G. Het neo-Platonisme[20]

54. Voor een juist begrip van de ontwikkelingsgeschiedenis der natuurwetenschap in latere tijden is enig inzicht in de verschillende richtingen van de Griekse wijsbegeerte ook dan onmisbaar, wanneer in het te beschouwen stelsel een geest heerst die onverschillig, ja vijandig tegenover het onderzoek der natuur staat. Het Griekse denken heeft nu eenmaal in hoge mate het geestelijk strijdperk aangewezen en bepaald, waarbinnen alle latere meningsverschillen over wezen en waarde der natuurwetenschap zijn uitgevochten. Het is daarom voor ons doel onvermijdelijk, ook nog iets te zeggen over het laatste philosophische stelsel dat de ten ondergang neigende antieke beschaving heeft voortgebracht en waarin zich nog eens de gehele gedachtenrijkdom van den Grieksen geest openbaart.

De voornaamste vertegenwoordiger en feitelijke grondlegger van het neo-Platonisme, Plotinos, beschouwt zich zelf als een getrouw volgeling van den goddelijken Plato en biedt zijn stelsel slechts aan als een interpretatie van wat hij het ware Platonisme acht. Echter is hij van mening - het is een opvatting, die talrijke denkers tot in de Renaissance met hem zullen delen - dat er tussen de leer van Plato en die van Aristoteles geen wezenlijke verschilpunten bestaan en hij ziet het daarom als zijn taak, hun beider denkbeelden, ook waar die uiteen schijnen te lopen, tot één stelsel te verwerken. Daar hij bovendien ook nog Stoicijnse, neo-Pythagoraeïsche en Oosterse invloeden blijkt te hebben ondergaan, wijkt de philosophie die hij ten slotte ontwikkelt, aanzienlijk van het oorspronkelijke Platonisme af. Zij is echter veel meer dan een synkretistische compilatie; door een geniale oorspronkelijkheid, die hem onder de Griekse denkers als derde gelijkwaardige figuur naast Plato en Aristoteles stelt, heeft hij een geheel eigen stelsel geschapen, waarvan de zelfstandigheid door de aanduiding neo-Platonisme slechts onvoldoende wordt uitgedrukt.

In overeenstemming met Plato stelt Plotinos de wereld der zinlijkheid als iets lagers tegenover een hogere geestelijke wereld, waaraan alleen het volle zijn toekomt. Echter beperkt hij zich niet tot deze antithese; hij ziet beide werelden als voortkomend uit een enkel oorspronkelijk beginsel, dat zich in een hierarchie van zijnstrappen geleidelijk ontvouwt. Uit dit beginsel, dat het Ene genoemd wordt, dat zo hoog boven alle zijn verheven is, dat men niet eens kan zeggen, dat het *is*, en dat daarom ook alleen door negatieve praedicaten kan worden omschreven (het is even doelloos, willoos en onbewust als de Eerste Beweger van Aristoteles) komt nu, zonder dat het zelf enige verandering ondergaat, de veelheid van het zijnde voort. Uit den aard der zaak kan niet worden gezegd, hoe

die ontplooiing van het Ene tot het vele plaats heeft. Plotinos tracht er een indruk van te geven door verschillende metaphoren, waarvan de sprekendste gebruik maakt van het aan de Pythagoraeïsch-Platonische spheer ontleende beeld van de Wereldzon, die, zonder zelf aan lichtkracht in te boeten, alle hemelspheren met haar licht vervult. Als uitstraling, emanatie, wordt het ontvouwingsproces dan ook in den regel aangeduid, waarbij men zich echter voortdurend bewust moet blijven, dat men in beelden spreekt: wat emaneert is niet iets substantieels, maar het is de kracht van het Ene, waardoor het tegenwoordig zal blijven op alle zijns-trappen waartoe de emanatie leidt.

Naast de negatieve bepaling van het Ene, die er alle praedicaten aan ontzegt, staat een positieve karakterisering, waarin het het Goede heet; de ontplooiing tot het vele wordt dan gezien als een achteruitgang in volmaaktheid, die in het beeld van de uitstraling door de Wereldzon voorkomt als vermindering van de lichtintensiteit.

55. De eerste emanatie Van het Ene is de Noûς of Wereldrede, die zowel de wereld van de ideale vormen als het denken van die vormen is; evenals bij Plato zijn deze vormen de onvergankelijke prototypen, waarvan wij in de zinlijke wereld slechts onvolkomen en veranderlijke nabootsingen ervaren; echter komen hierin, anders dan bij Plato, niet alleen geslachtsen soortideeën en mathematische vormen voor, maar ook vormen van alle individuele dingen; ook zijn deze niet slechts ideale modellen, die in de zinlijke dingen meer of minder duidelijk tot uiting komen, maar tevens krachten, die hen in het aanzijn roepen en in hen werkzaam zijn.

Als emanatie van de Wereldrede, tweede emanatie van het Ene en met beide de Trias der goddelijke hypostasen vormend, treedt de Ψύχη of Wereldziel op, die de ideeën niet meer, zoals de Wereldrede deed, in onmiddellijke aanschouwing bezit, maar ze door reflectie moet verwerken tot redelijke begrippen (λόγοι); zelf is ze de logos van de Wereldrede. Deze logoi nu roepen, door zich met de materie te verbinden, de stoffelijke dingen in het leven, waaruit de Φύσις, de Natuur, bestaat; zij zijn verwant met Aristotelische vormen, maar verschillen daarvan in dit opzicht, dat in eenzelfde ding zowel de vorm van dit individu aanwezig is als die van de species en genera waartoe het behoort; ook zijn ze te vergelijken met de Stoicijnse redelijke kiemkrachten. Door deze logoi staan alle dingen der Natuur met de Wereldziel in verband, zodat al het stoffelijke toch samenhangt met de goddelijke Trias.

De materie, waarin de logoi de natuur realiseren, staat aan den anderen kant van de hierarchie der zijnstrappen als tegenpool tegenover het Ene. In het beeld van de Zon is ze de duisternis, waarin de intensiteit van het uitgestraalde licht bij toenemenden afstand tot de lichtbron over gaat. Tegenover de volmaaktheid van het Ene treedt ze op als het principe van het kwade; men kan echter van de materie evenmin zeggen, dat ze *is* als men dat van het Ene doen kon; haar wezen kan slechts bij benadering

worden omschreven door beelden als volstrekte armoede, eeuwige onverzadigdheid, eeuwig verlangen naar het intreden in de verschijning.

Met de Trias der goddelijke hypostasen correspondeert in den mens - zij het ook niet in den zin van een toevoeging één-aan-één - de trias geest-ziel-lichaam. De mens is een mikrokosmos, die door geest en ziel in verband staat met de hogere wereld en door zijn lichaam in de Natuur thuishoort. En evenals in de Wereldziel nog weer een hoger en een lager bestanddeel te onderscheiden zijn, waarvan het eerste omhoog streeft naar de Wereldrede en het tweede, dat overeenkomt met de Wereldziel in Plato's *Timaios*, omlaag stralend naar de duisternis der materie, de natuur voortbrengt, zijn ook in de mensenziel twee delen werkzaam, waarvan het ene, hogere, op het geestelijke gericht is, en het andere, lagere, het sensitieve en het vegetatieve leven van het lichaam bestuurt.

56. Het is niet onze taak, hier het gecompliceerde wijsgerig stelsel van Plotinos in al zijn vertakkingen uiteen te zetten; we hebben slechts na te gaan, wat daarin voor de ontwikkeling der natuurwetenschap van belang is. Het bovenstaande is echter al voldoende om hierover enkele conclusies te trekken.

Vooreerst deze, dat men van een philosoof, die zo zeer alle realiteit en alle waarde in het transcendente en geestelijke zoekt en die de materie òf als het volslagen armoedige òf als het principe van het kwade betitelt, bezwaarlijk een levendige belangstelling in de stoffelijke wereld kan verwachten, ook al leeft daar toch ook de kracht van het Ene en Goede in. Inderdaad vertoont Plotinos een superieure onverschilligheid ten aanzien van concrete natuurfeiten, die immers toch niets anders zijn dan onwezenlijke manifestaties van den geest die er in werkt en dien we beter met onze redelijke vermogens en nog beter in een extatisch schouwen kunnen trachten te benaderen. De tegenstelling tussen geest en materie leidde bij Plotinos zelfs tot een ascetisme uit verachting (volgens zijn leerling Porphyrios scheen hij er zich over te schamen, dat hij een lichaam bezat), dat hem er toe bracht, aan het getuigenis der zinnen niet de minste waarde te hechten.

Zo schiep het neo-Platonisme, in nog veel hogere mate dan het Platonisme reeds gedaan had, alle psychologische voorwaarden voor verwaarlozing, ja minachting van empirisch natuuronderzoek. Op de vraag, in hoeverre in de uitgesproken anti-empirische instelling, die de laatste Griekse philosophie kenmerkt, een algemene trek van het Griekse wetenschappelijk denken tot uiting komt, zullen we in I: 86-95 nader ingaan.

Verder valt nog op te merken, dat het neo-Platonisme, op de gronden die we daarvoor bij het Stoicisme reeds leerden kennen, ontvankelijk moest zijn voor de bekoring van het occulte: de sterke overtuiging, dat de kosmos een levend organisme is en dat de mens door zijn ziel rechtstreeks in verband staat met de goddelijke Trias, leidde niet alleen tot aanvaarding van de mogelijkheid van toekomstvoorspelling, maar ook tot

een geloof in magische krachten, die op een redelijk niet te begrijpen wijze verschijnselen in het leven kunnen roepen die niet stroken met de normale physische ervaring.

57. Hoewel het neo-Platonisme voornamelijk een schepping van Plotinos is, zijn de wijzigingen die het onder zijn opvolgers heeft ondergaan, ook al mogen ze in de meeste gevallen geen vooruitgang betekenen, om den invloed dien ze op het denken hebben uitgeoefend, historisch toch verre van onbelangrijk. In het algemeen kan men wel zeggen, dat die invloed remmend op het ontstaan der natuurwetenschap heeft gewerkt en speciaal die neigingen van den menselijken geest heeft bevorderd die het ontstaan van een gezonde wetenschap altijd tegenwerken. En dat wel in twee opzichten: vooreerst door een hypertrophie van de philosophische speculatie, waarin alle denkkracht werd besteed aan het construeren van gedachten-stelsels die geen enkel verband met de ervaarbare realiteit meer vertonen. De neo-Platonici schijnen uit te gaan van de overtuiging, dat met iedere indeling of onderscheiding die de menselijke geest kan maken, ook een reële indeling of onderscheiding in de wereldstructuur correspondeert. Zo is Iamblichos niet tevreden met de omschrijving die Plotinos van de Wereldrede had gegeven als het Zijnde, het Levende en het Denkende, maar acht hij het nodig, haar deswege in een nieuwe Trias: Zijn, Leven, Denken, uiteen te laten vallen. En Syrianos, onvoldaan over de klove die in het stelsel van Plotinos noodzakelijk had moeten blijven gapen tussen het absolute inactieve Ene en de Veelheid die daaruit door emanatie is voortgekomen, tracht die klove te overbruggen door naar analogie van de veelheid van zielen die aan de Wereldziel deel hebben, onmiddellijk onder dat Ene een veelheid van Enen, de Henaden, aan te nemen, die elk hun zijn weer uiteengelegd zien in een reeks van vijf hierarchisch geordende zijnstrappen.

In de tweede plaats echter door de steeds sterker wordende neiging, zich toe te vertrouwen aan magische en theurgische practijken en een beroep te doen op de medewerking van ontelbare daemonen, inplaats van door eigen onderzoek en nadenken de natuur te leren begrijpen en haar door eigen handelen te beheersen. Uit de school van Iamblichos is onder den titel *De Mysteriis* een compleet handboek van de daemonologie en de leer der tovermiddelen voortgekomen, gebaseerd op de overtuiging, dat de mens met de goden niet door redelijk denken of door contemplatie in contact kan komen, maar alleen door theurgische riten uit te voeren en magische woorden uit te spreken. Het neo-Platonisme moge zelf niet al deze afdwalingen van den weg der redelijkheid hebben voortgebracht, het heeft ze echter wel met een zekere gretigheid opgenomen en er een wijsgerige basis aan verschaft.

58. Men kan dit alles zakelijk onbelangrijk vinden en van mening zijn, dat het met de geschiedenis der natuurwetenschap generlei verband houdt. Men ziet dan echter twee dingen over het hoofd en wel vooreerst het al-

gemene feit, dat de wetenschapsgeschiedenis niet alleen aandacht behoort te besteden aan de factoren die het wetenschappelijk denken hebben bevorderd, maar in niet mindere mate aan die welke het hebben tegengewerkt; en vervolgens de bijzondere omstandigheid, die aan het neo-Platonisme een Europese betekenis verleent, dat namelijk de wegen waarlangs het Griekse denken aan latere generaties is overgeleverd, eeuwen lang geheel over neo-Platonisch terrein hebben gelopen, zodat ook de oudere phasen van de antieke wijsbegeerte aanvankelijk niet in hun ware gedaante, maar in neo-Platonische inkleding in het Westen zijn doorgedrongen. Daarbij heeft o.m. een geschrift van den laatsten belangrijken vertegenwoordiger van het stelsel, Proklos, een sterke werking uitgeoefend. Geheel samengesteld naar het voorbeeld van het fundamentele wiskundige werk *De Elementen* van Euclides, waaraan het ook den titel Στοιχείωσι□ ϑεολογική (*Elementatio theologica*) ontleent, behandelde het in 211 proposities de gehele neo-Platonische philosophie en theologie. Bij de Arabieren en door hun bemiddeling in West-Europa is het bekend geworden onder den titel *Liber de Causis* en men kan nu niet duidelijker illustreren, hoezeer het neo-Platonisme het medium is geweest waardoorheen men de gehele Griekse philosophie zag, dan door het feit te vermelden, dat dit boek algemeen voor een werk van Aristoteles werd gehouden, op wiens naam tevens een ander werk van soortgelijke strekking, de *Theologia Aristotelis*, gesteld werd. Eerst Thomas van Aquino heeft de onmogelijkheid daarvan ingezien.

Eindnoten:

1 Duhem (6), Enriques e de Santillana, Sarton I, Sassen (1), Ueberweg-Praechter.
2 Aristoteles, *Metaphysica* A 6; 987 b 28.
3 Aristoteles, *Metaphysica* A 5; 986 a 3.
4 Hoenen (1), Joel, Meyerson.
5 Hoenen (1), Hooykaas (1) (5), Lange, Lasswitz.
6 Leukippos. Diels 54 B 2.
7 Armstrong, Dijksterhuis (1) (2) (5).
8 Dijksterhuis (1), Hoenen (1), Kleutgen, Maier (2) (3) (4).
9 Aristoteles, *De Generatione et Corruptione* I 10; 328 b 22.
10 Hoenen (1), van Melsen, Muskens, Pesch.
11 Dijksterhuis (1), Maier (4).
12 Aristoteles, *Physica* VII 1; 241 b 24.
13 Dijksterhuis (1) (5). Heath (1).
14 Aristoteles, *Metaphysica* Λ 7; 1072 b 3.
15 Duhem (2) (6), van Laer, Maier (4).
16 Aristoteles, *Physica* III 1; 201 a 10.
17 Aristoteles, *Metaphysica* K 9; 1065 b 16.
18 Beth, Scholz.
19 Armstrong XI.
20 Armstrong XVI-XVIII.

III. Het vakwetenschappelijk erfgoed

59. Aan de globale boedelbeschrijving van wat de heidense Griekse Oudheid op natuurphilosophisch gebied aan de wereld heeft nagelaten en waardoor eeuwen lang de algemene geestelijke spheer waarbinnen de ontwikkeling van het natuurwetenschappelijk denken zich heeft voltrokken, bepaald is, voegen we thans een eveneens slechts de grote lijnen aangevende schets toe van de resultaten, die zij op vakwetenschappelijk gebied heeft bereikt en waarop later voortgebouwd heeft kunnen worden. Rangschikken we daarbij de vakken naar de volgorde van belangrijkheid van wat er in tot stand was gebracht, dan zal in de eerste plaats over de wiskunde met de wiskundig behandelde takken der physica gesproken moeten worden en daarna over de astronomie; vervolgens zal dan nog iets kunnen worden gezegd over de natuur- en de scheikunde en over de techniek, terwijl ook nog aandacht zal moeten worden besteed aan onderwerpen als alchemie en astrologie, die in het ontstaan der natuurwetenschap een belangrijke functie hebben vervuld.

A. Wiskunde[1]

60. Na een snelle ontwikkeling in de vijfde en vierde eeuw, die ongetwijfeld wel gevoed is door Babylonische en Aegyptische bronnen, maar waarin zich een geheel eigen stijl van beoefening gevormd had, had de wiskunde de codificatie van haar elementen gevonden in het werk van Euclides, *De Elementen*, dat den grondslag van haar verderen opbouw zou vormen. Van de mathematici die dien opbouw hebben uitgevoerd, noemen we er twee: Archimedes en Apollonios. De eerste leerde strenge methoden kennen ter bepaling van oppervlakten van bepaalde kromlijnig begrensde vlakke figuren en van oppervlakten en inhouden van door gebogen oppervlakken begrensde lichamen; de tweede breidde door een diepgaand onderzoek van de kegelsneden den gezichtskring der wiskunde tot ver buiten het elementaire gebied uit. Op de door hun werk in het leven geroepen periode van bloei volgde een tijd van verval, waarin ondanks het optreden van geïsoleerde grote wiskundigen als Pappos en Diophantos de Griekse mathesis als geheel beschouwd tot stilstand en verstarring kwam en waarin zelfs een onmiskenbare daling van het peil van het wiskundig denken er toe leidde, dat de grote figuren uit het verleden min of meer in vergetelheid geraakten.

Dat de Grieken niet in staat zijn gebleken, een vak dat ze voor het grootste deel zelf hadden geschapen en waarvoor zij een uitzonderlijken aanleg bezaten, ook steeds verder te blijven ontwikkelen, is ongetwijfeld mede het gevolg geweest van de algemene decadentie, waartoe de klassieke cultuur in het latere Hellenisme is komen te vervallen. Als intern-mathe-

matische oorzaak heeft er echter ook een specifieke factor toe medegewerkt, dien men zou kunnen omschrijven als een eenzijdige oriëntering van het wiskundig denken op de in Euclidischen trant beoefende meetkunde en de daardoor teweeggebrachte verwaarlozing van de algebraische zijde van het vak. Er stond op algebraisch gebied een eeuwenoude Babylonische traditie ter beschikking, die de Griekse wiskundigen - zo schijnt het ons althans tegenwoordig toe - slechts hadden behoeven voort te zetten, om reeds in 300 v. Chr. alles te bereiken wat nu eerst de Arabieren en de 16e-eeuwse Italianen tot stand hebben gebracht. Zij hebben die gelegenheid echter niet alleen niet aangegrepen, maar zelfs met kennelijk opzet algebraische methoden, die zij van hun voorgangers hadden leren kennen, in het meetkundige getransponeerd.

61. Deze opmerkelijke ommekeer in den ontwikkelingsgang der wiskunde, die haar duidelijkste uitdrukking vindt in de vervanging van de algebraische behandeling die de vierkantsvergelijking bij de Babyloniërs had ondergaan, door de meetkundige inkleding in de z.g. oppervlakterekening of geometrische algebra, die Euclides haar geeft, hangt samen - men weet soms niet recht, wat hier oorzaak is en wat gevolg - met het ontbreken van een passend mathematisch tekenschrift. De Griekse wiskundigen kleden al hun redeneringen in woorden in en vervallen daardoor in een breedsprakigheid en onoverzichtelijkheid, die het geduld van ieder die de heilzame werking van een doelmatige, algebraische symboliek heeft leren kennen, op een harde proef stelt. In hun cijferschrift, dat de letters van het alphabet als cijfers gebruikt, openbaart zich eenzelfde gemis aan een practische notatie, wat opnieuw des te verwonderlijker is, omdat zij ook op dit gebied zoveel van de Babyloniërs hadden kunnen leren; dezen hadden hun cijferschrift immers ten dele gebaseerd op het zo uiterst vruchtbare denkbeeld van de positieschrijfwijze, dat de waarde van een cijfer afhankelijk maakt van de plaats die het in het getalteken inneemt. Bovendien was door het gebruik van letters als cijfers het ontstaan van een algebra waarin de letters onbepaald gelaten getallen uitdrukken, bij voorbaat uitgesloten en daardoor was de wel niet enig denkbare, maar toch wel meest voor de hand liggende vorm van symbolische algebra onmogelijk gemaakt. Het veelbelovende begin dat zij in hun koordenrekening met de goniometrie hadden gemaakt, was eveneens door het ontbreken van een goede notatie in de kiem blijven steken. En hoewel verscheidene redeneringen van Archimedes en Apollonios slechts in algebraisch tekenschrift behoeven te worden overgebracht om tot de analytische meetkunde gerekend te kunnen worden, bleef ook hier de beslissende stap, die immers juist in die algebraische formulering zou hebben moeten bestaan, achterwege.

62. Van de twee genoemde eigenschappen is de eerste - de eenzijdige geometrisering - ongetwijfeld een gevolg van het logisch rigorisme, dat de Grieken tot hun eminente wiskundige praestaties in staat heeft gesteld;

het is een schaduwzijde van hun grootste mathematische deugd. Zij waren de denkmoeilijkheden die aan het begrip van het irrationale en aan dat van het continuum verbonden zijn, te boven gekomen door een meetkundige inkleding en de meetkunde was daardoor voor hen de enige strenge tak der wiskunde geworden; in meetkundige taal werd dus de algemene redentheorie van Eudoxos ontwikkeld, die aequivalent is met een theorie van het positieve reële getal; meetkundig ingekleed was ook de eveneens door Eudoxos ingevoerde en door Archimedes tot grote perfectie ontwikkelde volkomen exacte methode om door indirecte redenering hetzelfde te bereiken wat de latere analyse door een limietovergang zou verkrijgen; en in theoretisch-arithmetische onderzoekingen werden getallen waarvan de waarde in het midden kon blijven, niet door letters voorgesteld (ook al om de reeds vermelde reden, dat deze bepaalde getallen uitdrukten), maar door lijnstukken. Daar kwam nog bij, dat een andere mathematische vondst van ontzaglijke draagwijdte die wij aan de Grieken te danken hebben, het denkbeeld namelijk van een axiomatische opbouw, haar eerste uitwerking en toepassing in de meetkunde had gevonden. Ook wanneer het beschikbare tekenschrift het tot stand komen van een letter-algebra niet verhinderd had, zou zeer waarschijnlijk de overtuiging, dat alleen de geometrie de ware strengheid kent, reeds deze zelfde uitwerking hebben gehad.

63. De tweede eigenschap echter, het ontbreken van een goede symboliek, hangt ongetwijfeld, behalve met het reeds vermelde gebruik van letters als cijfers, samen met de uitgesproken wereldvreemdheid en de geringschatting van de practische toepasbaarheid der wiskunde, die de Platonische mathematici (en Euclides is op en top Platonicus) karakteriseren en die ten gevolge hadden, dat men met het zo kunstig opgebouwde stelsel der *Elementen* nergens anders iets deed dan in de wiskunde zelf en dus den stimulerenden invloed van de eisen die de practijk van het dagelijks leven en de natuurwetenschappen stellen, ontbeerde. Euclidische wiskunde en Platonische vormenleer zijn vruchten van eenzelfden geestelijken stam; de meetkundige houdt zich bezig met de ideale vormen van een hogere wereld; de naam geometrie moge de herinnering aan haar ontstaan uit aardse werkzaamheden bewaren, de voorwerpen die wij door gezichts- en tastzin leren kennen, mogen van betekenis zijn voor het verlevendigen van de in ons sluimerende herinnering aan de ware mathematische entiteiten, voor de anamnesis (I: 14), het vak zelf heeft met tast- en meetbare voorwerpen en de daarmee uit te voeren handelingen niets meer uitstaande; het is niet van deze aarde. Plato wijst dan ook principieel alle oplossingen van wiskundige problemen af waarbij men, zoals in het probleem van de verdubbeling van den kubus wel beproefd was, van stoffelijke hulpmiddelen gebruik wilde maken en hij heeft niets dan spot en hoon over voor wie de onmisbaarheid van de wiskunde als element van intellectuele opvoeding wil bepleiten door op haar practische bruik-

baarheid te wijzen. Geheel in zijn geest vermijdt Euclides alle redeneringen waarbij een meetkundige figuur in gedachten in beweging wordt gebracht, als ware het een stoffelijk voorwerp.

64. Wanneer men dit alles bedenkt, zal het tevens begrijpelijk worden - althans begrijpelijker dan wanneer men het verwonderlijke feit voor het eerst verneemt - dat het fundamentele standaardwerk der Griekse wiskunde, de *Elementen* van Euclides, wèl diepgaande beschouwingen over de leer der getallen, de arithmetica, bevat, maar dat men er niet in kan vinden, hoe de Grieken die getallen schreven en hoe ze mee rekenden; dat alles was logistica, een aangelegenheid van het practische leven; zij was weliswaar als τέχνη - op inzicht berustend handelen - verre verheven boven een blote ἐμπειρία, die slechts een op routine berustend toepassen van ervaringsregels is, zoals de kookkunst, maar toch weer van veel lageren rang dan de essentieel op het ideale gerichte ἐπιστήμη arithmetica.

Terwijl dus de Griekse wiskundigen aan den enen kant de mathesis ontzaglijk hebben verrijkt, ja haar feitelijk eerst in haar zuiveren vorm in het leven hebben geroepen, hebben zij anderzijds haar ontwikkelingsmogelijkheden sterk beknot door haar in de spheer der volkomen zuiverheid te isoleren en de ogen te sluiten voor haar toepasbaarheid daarbuiten. In latere eeuwen zou blijken, hoezeer zulk een isolement haar schaadt, hoe krachtige impulsen voor eigen groei zij van het practische leven eerst, van de natuurwetenschap daarna en niet het minst van de op die natuurwetenschap berustende techniek ontvangen kan. Bij de Grieken zijn die impulsen uitgebleven, omdat er nog slechts enkele voor wiskundige behandeling vatbare takken der natuurwetenschap bestonden en er van een wetenschappelijk bedreven techniek helemaal geen sprake was; opnieuw kan men zich afvragen, wat hier oorzaak is en wat gevolg.

65. Wij zullen in ander en ruimer verband (I: 86-95) nog op den geschetsten karaktertrek van de Griekse beoefening der wiskunde terugkomen, maar wijzen thans nog op een andere eigenaardigheid, waarin eveneens haar Platonische oorsprong tot uiting komt en die eveneens haar practische toepasbaarheid zeer in den weg heeft gestaan. Doordat zij zich namelijk bezig hield met onveranderlijke eeuwige ideale vormen, had zij voor de veranderlijkheid evenmin enig oog en enige waardering als de philosoof die zich aan de studie der ideeën wijdde. Daardoor zijn de Grieken er nooit toegekomen, de veranderlijkheid als zodanig tot object van mathematische begripsvorming en onderzoek te maken; begrippen als snelheid van een beweging op zeker ogenblik en richting van de raaklijn aan een kromme in een zeker punt liggen geheel buiten haar gezichtskring. De Griekse kinematica behandelt eenparige bewegingen, wat voor de astronomie in verband met het Platonisch axioma ook voldoende was; in de Aristotelische dynamica brengt een constante kracht een constante snelheid voort; in de meetkunde wordt een raaklijn niet als limietstand

van een snijlijn beschouwd, maar als een lijn, waarvan binnen een zekere omgeving één punt op en de andere buiten de kromme liggen. Het zal duidelijk zijn, welke belangrijke gevolgen deze beperking met zich mee moest brengen: terwijl Archimedes zo dicht tot de latere integraalrekening nadert, dat verscheidene van zijn redeneringen ongedwongen als meetkundig ingeklede integraties kunnen worden opgevat, heeft noch hij noch een andere Griekse wiskundige ook maar een stap gezet op den weg die naar de differentiaalrekening zou leiden; pogingen om wiskundig uit te drukken, hoe een punt op zeker tijdstip bezig is zich te bewegen of welke richting een kromme lijn in zeker punt heeft, zijn nooit gedaan; het zou tot in de 17e eeuw duren, voordat uit deze problemen de wiskunde van het veranderlijke zou ontstaan, die men fluxie- of differentiaalrekening noemt.

B. Mathematische physica

66. Als een onderdeel van de wiskunde, van die van Euclides alleen onderscheiden door eigen axiomata van physischen aard, bouwt Archimedes een statica op, leer van hefboomevenwicht en zwaartepuntsbepaling, die echter geheel in het zuiver wiskundige blijft verlopen en dus niet tot een theorie van de in dien tijd gebruikelijke werktuigen voert. De belangrijkste dienst dien zij hem bewijst, bestaat in een methode die het mogelijk maakt, met behulp van hefboomevenwichten stellingen over inhouden van lichamen af te leiden. Het typeert weer de strengheid van de Griekse beoefening der wiskunde, dat deze methode niet waardig werd gekeurd, in zijn gepubliceerde werken te worden opgenomen, niet omdat zij van statische beschouwingen gebruik maakt - deze waren immers streng axiomatisch gefundeerd - maar omdat zij berust op de opvatting van een lichaam als som van oneindig veel vlakke doorsneden. Er zouden tijden komen, waarin men onbekommerd met die voorstelling zou opereren en er veel belangrijks uit zou afleiden. Voor een Grieksen wiskundige die in de school van Plato, Eudoxos en Euclides gevormd was, kon een dergelijk onstreng gebruik van het begrip oneindig echter geen aanspraak maken op enige bewijskracht; het werd binnenkamers als vruchtbaar heuristisch hulpmiddel dankbaar gehanteerd, maar in een officiële publicatie moest ieder spoor ervan zijn weggewerkt; hier werd alleen de methode van den indirecten limietovergang geduld.

67. Zuiver wiskundig van aard is ook de behandeling die de hydrostatica bij Archimedes ondergaat; ook zij wordt opgebouwd op enkele evident geachte axiomata en toegepast in vraagstukken die uitsluitend wiskundig belang hebben. Even typerend als het voor de *Elementen* van Euclides is, dat daarin niets over het rekenen wordt gezegd, even karakteristiek is het voor Archimedes, dat hij na opstelling van de nog steeds

naar hem genoemde wet van de opwaartse kracht die een in een vloeistof gedompeld lichaam ondervindt, niet over eenvoudige physische toepassingen gaat spreken, maar dadelijk overgaat tot zeer gecompliceerde vraagstukken over de stabiliteit van segmenten van drijvende omwentelings-paraboloiden.

In dezelfde zuiver mathematische spheer verloopt ook de behandeling van de perspectief of geometrische optica bij Euclides en ten dele ook bij Ptolemaios. Bij den laatste leidt echter, zoals nog blijken zal (I: 100), de studie van de lichtbreking tot onderzoekingen die tot de experimentele physica gerekend mogen worden.

Ten slotte behoort ook de Griekse geluidsleer meer tot de mathematische dan tot de experimentele physica: na enkele inleidende beschouwingen over toonhoogte, waarin hier en daar iets van het inzicht in het trillingskarakter van tonen tot uiting komt, gaat zij vrijwel dadelijk over in arithmetische theorieën over tonen en intervallen; nog eeuwen lang zal het begrip muziek, als leervak beschouwd, meer met getalverhoudingen dan met hoorbare tonen te maken hebben, in overeenstemming met de Platonische opvatting, dat het wezen van de muziek toch in de getallen zit en dat wat we horen slechts een onvolkomen voor den gehoorzin toegankelijke afbeelding in het materiële is van een ideale getallenwereld, die in de speculaties van den arithmeticus beter wordt verstaan dan in de aesthetische ontroeringen van den musicus.

C. Astronomie[2]

a. *Het redden der verschijnselen*

68. Het past geheel in Plato's denkwijze, dat ook de astronomie voor de Grieken een bij uitstek mathematische wetenschap geweest is: voor den zuiveren Platonicus vormden immers de zichtbare hemelverschijnselen evengoed als zicht- en tastbare lichamen en hoorbare tonen slechts een aanleiding, zich op de in hem sluimerende kennis der ideale vormen te bezinnen; in dit geval waren die vormen stelsels van eenparige cirkelbewegingen, die het ware van de onregelmatigheid der waargenomen hemelbewegingen inhielden. Echter bracht de aard van het vak met zich mee, dat men bij de daadwerkelijke beoefening veel verder in de richting van de empirische natuurwetenschap moest gaan dan in de andere voor mathematische behandeling vatbare takken der physica. Statica, hydrostatica en geometrische optica vereisen slechts een gering langs empirischen weg verzameld ervaringsmateriaal om verder mathematisch te kunnen worden behandeld; de beweging die een planeet ten opzichte van de vaste sterren uitvoert, kan men echter niet anders leren kennen dan door systematische waarneming en nauwkeurige meting.

Het zou ons te ver voeren, als we hier wilden ingaan op de practische beoefening der Griekse astronomie, op de beschikbare instrumenten en meetmethoden, op het aan de Babylonische astronomen ontleende materiaal van astronomische feiten en op wat daaraan door eigen waarnemingen van de Griekse is toegevoegd. We moeten volstaan met de mededeling, dat de gestadige uitbreiding en precisering van de empirische gegevens aanleiding gaf tot een voortdurende verfijning van de theorieën die, in overeenstemming met den Platonischen eis, de verschijnselen van de planetenbeweging trachtten te redden door combinaties van eenparige cirkelvormige bewegingen. De theorie van de concentrische spheren bleek daardoor al spoedig onhoudbaar, reeds hierom, omdat zij geen rekenschap kon geven van de kennelijke veranderingen die in de afstanden van de verschillende hemellichamen tot de aarde konden worden vastgesteld. Haar plaats werd ingenomen door de theorie van excenters en epicykels, waaraan vooral de namen van Hipparchos van Nicaea en Ptolemaios van Alexandria verbonden zijn. Daar deze theorie een grote betekenis voor de geschiedenis van het natuurwetenschappelijk denken zou verkrijgen, is het nodig, iets te zeggen van de methodische beginselen waarop zij berust.

69. Hoewel de theorie van excenters en epicykels er naar streeft, den eis van eenparigheid en cirkelvormigheid van alle onderstelde bewegingen te handhaven, voelt zij zich niet verplicht, ook vast te houden aan het daaraan aanvankelijk stilzwijgend en later door Aristoteles bewust toegevoegde voorschrift, dat al die cirkelbewegingen moeten plaats hebben om het wereldcentrum (dat tevens het aardcentrum is) als middelpunt. Zij wijkt daarvan zelfs op drie verschillende wijzen, die hieronder nader worden toegelicht, af.

α. Excentrische Beweging

70. Hierbij wordt gebruik gemaakt van cirkels die weliswaar het wereldcentrum insluiten, maar waarvan het middelpunt niet met dat centrum samenvalt; zulke cirkels heten daarom excentrische cirkels of excenters. Wat hiermee bereikt kon worden, moge hier worden uiteengezet voor het geval van de zonsbeweging.

Het was reeds vroeg bij de Grieken bekend, dat de verschillende jaargetijden niet even lang zijn: de zon bleek 94,5 dag nodig te hebben om van het lentepunt in het zomerpunt te komen en daarna nog 92,5 dag om het herfstpunt te bereiken; het zomerhalfjaar bedroeg dus 187 dagen en nam dus meer dan de helft van het jaar in beslag. Het Platonisch axioma verbood, dit te verklaren door de onderstelling, dat de zon haar baan niet eenparig doorloopt; men kon echter, de eenparigheid handhavend, rekenschap van het verschijnsel geven door aan te nemen, dat de aardse waarnemer de eenparige beweging van de zon in haar baan op den hemel projecteert van een punt uit, dat niet met het baancentrum samenvalt.

De zon zal zich dan schijnbaar des te langzamer bewegen, naarmate haar afstand tot het standpunt van den waarnemer groter is. Zij dus in fig. 2 *C* het centrum van de zonsbaan; *M* de waarnemer op aarde; *L, Z, H, W* de punten waarin de zonsbaan

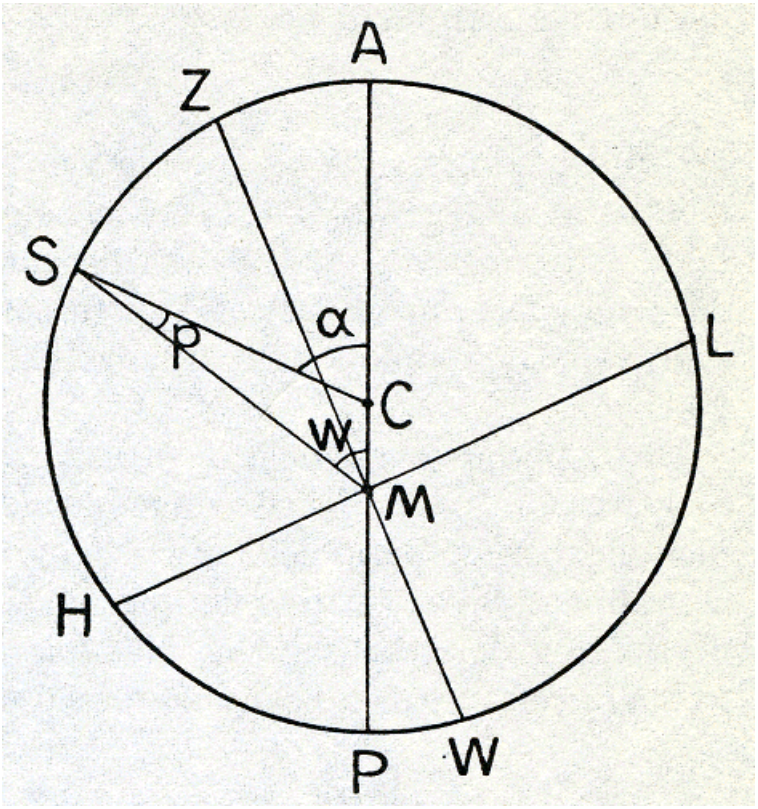


Fig. 2. Excentrische beweging. De zon *S* doorloopt in eenparige beweging een cirkel met middelpunt *C* en wordt waargenomen uit het excentrisch gelegen punt *M*.

opv. gesneden wordt door de lijnen, die van *M* uit naar lente-, zomer-, herfst- en winterpunt getrokken zijn. De boog *LZ* is nu kennelijk groter dan 90° en de in het zomerhalfjaar doorlopen boog *LZH* groter dan de voor het winterhalfjaar overblijvende boog *HWL*. Het probleem dat de astronoom heeft op te lossen, bestaat nu in de bepaling van dén afstand *CM* (excentriciteit) en van de ligging van de middellijn *CM* ten opzichte van de lijnen, die naar de jaarpunten getrokken zijn. Deze ligging kan worden bepaald door den boog *AZ*, als *A* het z.g. apogeum is, d.i. het punt van de zonsbaan, dat op de lijn der absiden (*CM*) het verst van *M* verwijderd is. Dit vraagstuk is reeds door Hipparchos opgelost, die voor *bg AZ* de waarde 24° 30′ vond en voor de verhouding van *CM* tot den straal van de baan 1/24.

Voor de oplossing zijn blijkbaar metingen nodig van de tijdstippen van doorgang van de zon door lente-, zomer- en herfstpunt; dus van de ogenblikken, waarop de zon in den aequator staat en waarop haar afstand tot den aequator een maximum bereikt. Ptolemaios neemt hiervoor de gegevens van Hipparchos onveranderd over. Had hij de waarnemingen voor zijn tijd herhaald, dan zou hij het apogeum *A* niet 24° 30′, maar 19° 38′ vóór het zomerpunt gevonden hebben en dus hebben moeten constateren, dat de zon geen vasten, maar een ronddraaienden excenter doorloopt. Deze ontdekking is pas gedaan door den Arabischen astronoom al-Battânî (II: 16); het apogeum blijkt zich per eeuw 0°,32 in de richting der tekens, dus van *L* naar *Z* te verplaatsen.

Nog een enkel woord over de wijze, waarop van het verkregen resultaat gebruik werd gemaakt. Het is duidelijk, dat de zon *S* van *M* uit op een ander punt van den

hemel wordt geprojecteerd dan van *C* uit. Daar *S* haar baan eenparig doorloopt, is voor ieder tijdstip na den doorgang door het apogeum *A* te berekenen, hoe groot de middelbare anomalie,

d.w.z. de hoek *ACS* (α) is. We willen echter weten, waar *M* de zon ziet, dus hoe groot de hoek *AMS*, genaamd de ware anomalie (*ω*), is. Daarvoor moet de waarde *ρ* van het verschilzicht, genaamd middelpuntsvereffening, bekend zijn. Immers nu is:

$$\omega = \alpha - \rho.$$

De uitdrukking van *ρ* als functie van α, dus van den tijd, wordt nu in tabelvorm opgegeven. De Griekse astronomie beschikt over alle hulpmiddelen om *ρ* voor iedere waarde van α te berekenen, maar niet over de symboliek om de betrekking tussen *ρ* en α in formulevorm op te schrijven. Een functionele afhankelijkheid vereist daardoor steeds een tabel.

De hypothese van de excentrische beweging wordt bij de planeten toegepast om de z.g. eerste ongelijkheid te verklaren, d.w.z. de onregelmatigheid in de periodieke afwisseling van tijdvakken waarin de planeet rechtlopend (in de richting der tekens) en die waarin ze teruglopend (tegen de richting der tekens in) is. Het feit, dat ze tijden van retrograde beweging heeft, dus een baan met lussen doorloopt, wordt de tweede ongelijkheid genoemd. Deze eist voor haar verklaring het tweede hulpmiddel waarin wordt afgeweken van de onderstelling, dat de banen van alle hemellichamen het wereld-centrum tot middelpunt hebben.

β. Epicyclische Beweging

71. Hoewel deze in de practische toepassingen in den regel gecombineerd wordt met de excentrische beweging, bespreken we haar eerst in haar zuiveren vorm, dus in de onderstelling, dat een planeet geen eerste ongelijkheid zou vertonen.

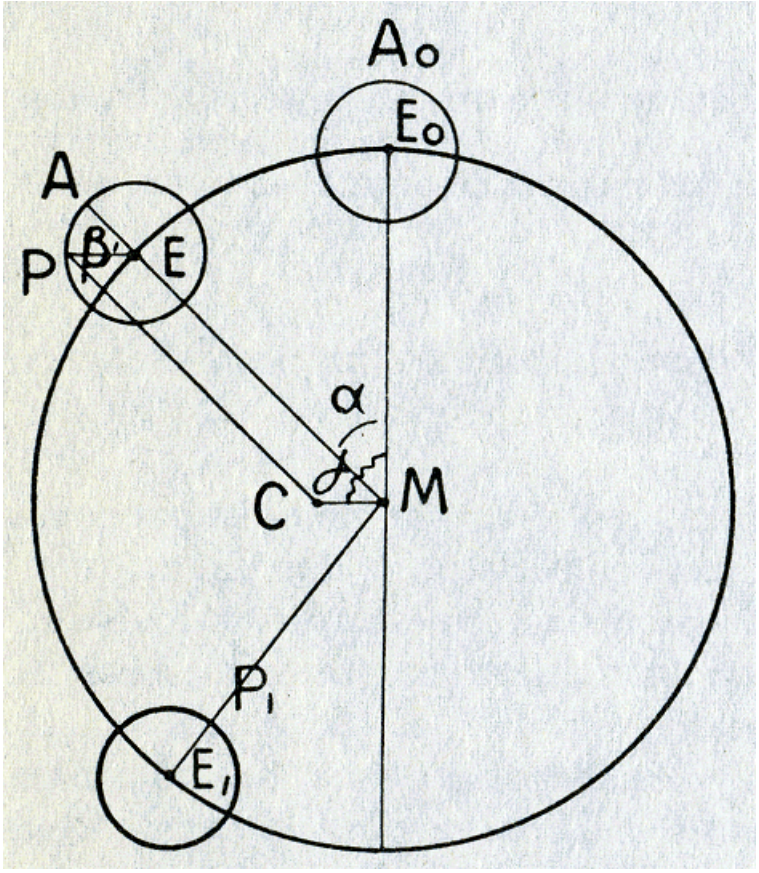


Fig. 3. Epicyclische beweging. Een hemellichaam *P* beschrijft een cirkel met een middelpunt *E* dat zelf een cirkel met middelpunt *M* doorloopt.

Men stelt zich nu voor (Fig. 3), dat een hemellichaam *P* een cirkel om *E* als middelpunt doorloopt en dat tegelijkertijd *E* zich over een cirkel met middelpunt *M* verplaatst; de eerste cirkel heet epicykel, de tweede deferens. De opvatting is deze, dat de deferens als een wiel om een as, door *M* loodrecht op het vlak van tekening, rondwentelt en daarbij den onbeweeglijk aan zijn rand bevestigden epicykel meevoert; de epicykel bezit dus een rotatie om *M*, niet een cirkelvormige

translatie, d.w.z. de voerstraal *EA*, die voor $t = 0$ van het middelpunt E_0 naar het punt A_0 van den epicykel wijst dat het verst van *M* verwijderd is (later de *aux* genaamd) blijft steeds in het verlengde van *ME* en behoudt dus niet een vaste richting. Men zou dus eigenlijk niet moeten zeggen, dat *E* den deferens doorloopt, maar dat de deferens zelf ronddraait; de eerste zegswijze is echter gebruikelijker. De hoek *AEP* verandert evenredig met den tijd. Het blijkt nu mogelijk om door keuze van de verhouding van de stralen van epicykel en deferens en van de omloopstijden van *E* over den deferens en van *P* over den epicykel de beweging van een planeet bij benadering voor te stellen. Dat de planeet perioden van retrograde beweging moet bezitten, is in beginsel in te zien door een ogenblik te beschouwen, waarop *P* op den epicykel in het punt P_1 is, dat op de lijn ME_1 tussen *M* en *E* ligt. Van *M* uit gezien, loopt nu *P* den anderen kant uit als *E*.

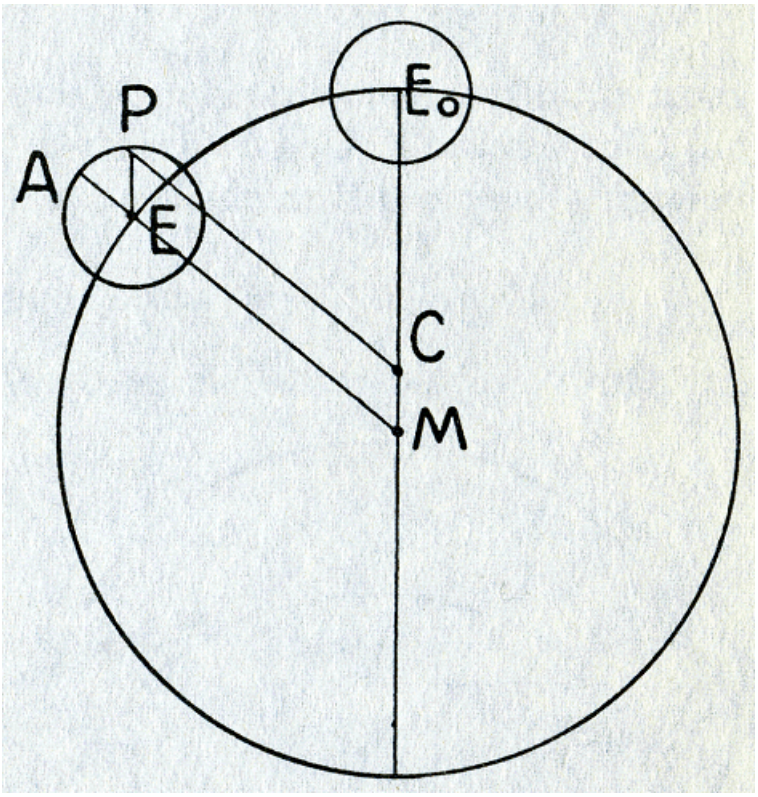


Fig. 4. Wanneer de epicykel *E* in den zelfden tijd en in tegengestelden zin doorlopen wordt als de deferens *M*, blijkt de epicyclische beweging identiek te zijn met een excentrische beweging.

In het bovenstaande is aangenomen, dat de zin waarin *P* den epicykel doorloopt, dezelfde is als die waarin de deferens rondwentelt, terwijl de omloopstijden van beide wentelingen onafhankelijk van elkaar gekozen zijn. Beschouwt men echter het geval, dat de twee omloopszinnen aan elkaar tegengesteld zijn en de beide omloopstijden aan elkaar gelijk, dan blijkt, dat de epicyclische beweging identiek wordt met de excentrische. In dat geval (Fig. 4) is nl. $\angle AEP = \angle E_0ME$, dus $EP \mathbin{//} ME_0$. Is nu $MC = EP$, dan blijkt *CP* eenparig om *C* te draaien ten opzichte van CE_0, terwijl de afstand *CP* constant is. Men kan dus ook *zeggen*, dat *P* een excentrischen cirkel met middelpunt *C* doorloopt. 72. De, zoals nog blijken zal, voor de astronomie zeer belangrijke mogelijkheid, een zelfde verschijnsel (i.c. een eenvoudige excentrische beweging) desgewenst ook door een epicyclische te redden en dus de beide hulpmiddelen 1) en 2) onderling te verwisselen, bestaat ook voor het bij

2) eerst beschouwde geval van een algemene epicyclische beweging. Is nl. in Fig. 3 *MC* gelijk en evenwijdig aan *EP*, dan blijft *CP* constant, terwijl *C* eenparig om *M* draait ten opzichte van ME_0 en *P* eveneens eenparig om *C* ten opzichte van *MC*, maar in tegengestelden zin. Zij namelijk de omloopstijd van *E* over den deferens ζ en die van *P* over

den epicykel σ. Stellen we ∠ E_0ME = α, ∠ AEP = β en ∠ CME_0 = γ, dan is, als t de tijd betekent, die verstreken is sedert den uitgangsstand (P samenvallend met de aux in den stand A):

$$\alpha = 2\pi \frac{t}{\zeta} \qquad \beta = 2\pi \frac{t}{\sigma}$$

$$\gamma = \alpha + \beta = 2\pi t\left(\frac{1}{\zeta} + \frac{1}{\sigma}\right).$$

Is nu $\frac{1}{\zeta} + \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\tau}$, dan wordt $\gamma = 2\pi \frac{t}{\tau}$

Is nu 1/ζ + 1/σ = 1/τ, dan wordt γ = 2π t/τ

zodat C blijkbaar een cirkel om M doorloopt in den tijd τ en P een cirkel om C in den tijd σ. De beweging van P is nu dus te omschrijven als een beweging over een draaienden excenter.

γ. Vereffeningsbeweging

73. Om zowel de eerste als de tweede ongelijkheid van een planeten-beweging te redden is een combinatie van de methoden 1) en 2) nodig: de planeet beweegt zich over een epicykel, die meegevoerd wordt door een excentrischen deferens. Het blijkt nu echter, dat daarmee nog niet alle waargenomen posities met voldoende nauwkeurigheid konden worden weergegeven. Dit heeft aanleiding gegeven tot de invoering van een derde en ditmaal wel zeer ingrijpende wijziging in het oorspronkelijk beeld. Men nam nu namelijk

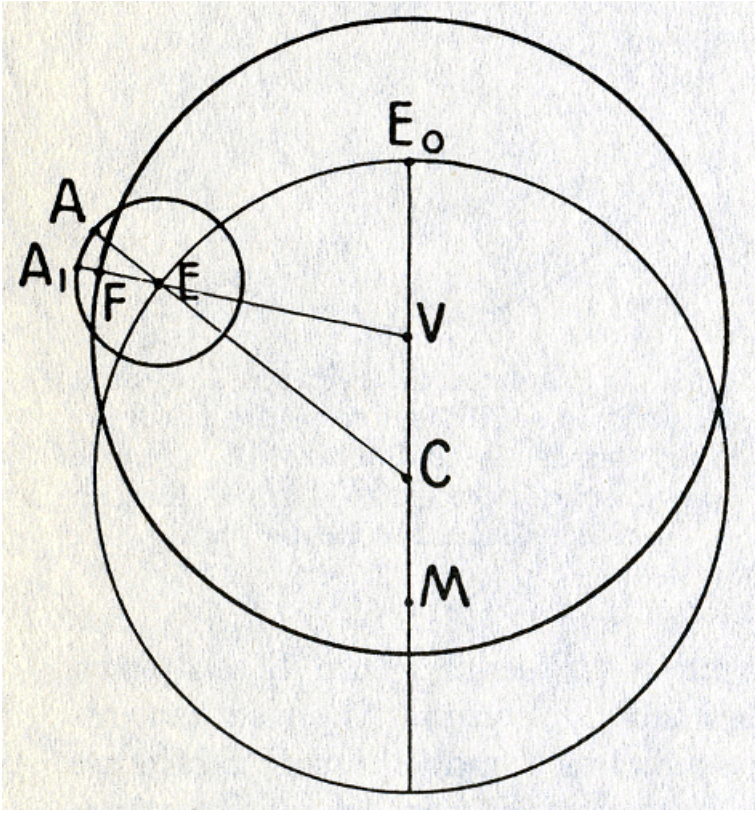


Fig. 5. Vereffeningsbeweging. Het epicykelmiddelpunt *E* doorloopt den cirkel met middelpunt *C* zo, dat niet *CE*, maar *VE* eenparig draait ten opzichte van de lijn der absiden.

(Fig. 5) op de lijn der absiden een punt *V* aan, aan den anderen kant van *C* gelegen als *M* en liet het epicykelmiddelpunt *E* zo rondlopen, dat niet de voerstraal *ME* uit het centrum van den deferens, maar de voerstraal *VE* uit het aangenomen punt (*punctum aequans* of vereffeningspunt) eenparig ten opzichte van de lijn der absiden draaide. De planeet doorloopt nu den epicykel eenparig niet ten opzichte van het punt *A* op *CE*, dat tot dusver als aux fungeerde, maar ten opzichte van de nieuwe aux A_1 op *VE*.

Aangaande de ligging van *V* op de lijn der absiden kan men nog verschillende onderstellingen maken; de eenvoudigste is *VC* = *CM*; in dit geval zegt men later, dat de excentriciteit gehalveerd is (waarbij dus *MV* en niet *MC* als de volle excentriciteit wordt opgevat).

Het is duidelijk, dat de invoering van het punctum aequans in feite neerkomt op een volstrekte schending van het Platonisch axioma. Immers wanneer $\angle E_0VE$ eenparig met den tijd verandert, doet $\angle E_0CE$ of $bg\ E_0E$ dat niet, zodat *E* niet meer eenparig over den deferens loopt. Beschrijft men nu echter een cirkel om *V* als middelpunt en bepaalt men het punt *F*, waarin *VE* dezen cirkel snijdt, dan doorloopt *F* dezen z.g. *circulus aequans* of vereffeningscirkel wèl eenparig en men kan dan formeel volhouden, dat het Platonisch axioma in acht is genomen. Dit lijkt echter meer op redden van het axioma dan op redden van de verschijnselen.

74. Dat de Griekse astronomen zich genoopt hebben gezien tot invoering van het punctum aequans, is een sprekend symptoom van de nauwgezetheid waarmee zij hun theorie trachtten aan te passen aan de door waarneming vastgestelde feiten. Op geen enkel punt heeft de Oudheid zozeer de methode benaderd die de natuurwetenschap eenmaal tot groten bloei zou brengen, als in de voortdurende verfijning van het astronomisch wereldbeeld.

Om er een voldoenden indruk van te geven, hoe ver die verfijning wel ging, is het boven meegedeelde niet eens toereikend. We hebben namelijk met opzet de complicatie buiten beschouwing gelaten die noodzakelijk optreedt, zodra men ook rekenschap wil geven van de beweging in breedte van de maan en de planeten. Dat brengt een nieuwe dimensie in het tot dusver als vlak te beschouwen beeld van hun bewegingen. Bij de buitenplaneten wordt aangenomen, dat het vlak van den deferens onder een bepaalden hoek ten opzichte van het vlak van de zonsbaan helt en dat het vlak van den epicykel een even groten hoek maakt met dat van den deferens en wel zo, dat het weer evenwijdig aan dat van de zonsbaan komt te liggen. Bij de binnenplaneten is de structuur nog ingewikkelder: het vlak van den deferens schommelt hier zelfs binnen bepaalde grenzen aan weerszijden van dat van de ecliptica.

75. De Griekse astronomie heeft zich vrijwel uitsluitend bezig gehouden met de bewegingen van de zon, de maan en de vijf planeten. Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus. De vaste sterren betekenen voor haar niet meer dan de onveranderlijke achtergrond, waarop we van de aarde uit de bewegingen van deze zeven lichamen zich zien aftekenen en de enige taak, waarvoor deze achtergrond de astronomen stelde, was die van een nauwkeurige en volledige beschrijving. Ptolemaios heeft zich van die taak gekweten door een catalogus van 1022 vaste sterren samen te stellen, ingedeeld in sterrenbeelden, waarbij van elke ster de coördinaten lengte en breedte en de grootte worden opgegeven. Door vergelijking met

vroegere waarnemingen was echter reeds ten tijde van Hipparchos komen vast te staan, dat de lengten der vaste sterren geleidelijk toenemen. Dit verschijnsel, later opgevat als een gevolg van een beweging van het lentepunt in een richting tegengesteld aan die der tekens en als praecessie van de aequinox betiteld, werd door de Griekse astronomen beschouwd als bestaande in een langzame draaiing van de spheer der vaste sterren in de richting der tekens; dit verklaart, waarom men van *prae*cessie is blijven spreken, toen men een *terug*lopende beweging van het lentepunt is gaan aannemen.

b. *Het wereldstelsel van Ptolemaios*

76. Met het oog op de grote historische betekenis die het stelsel van

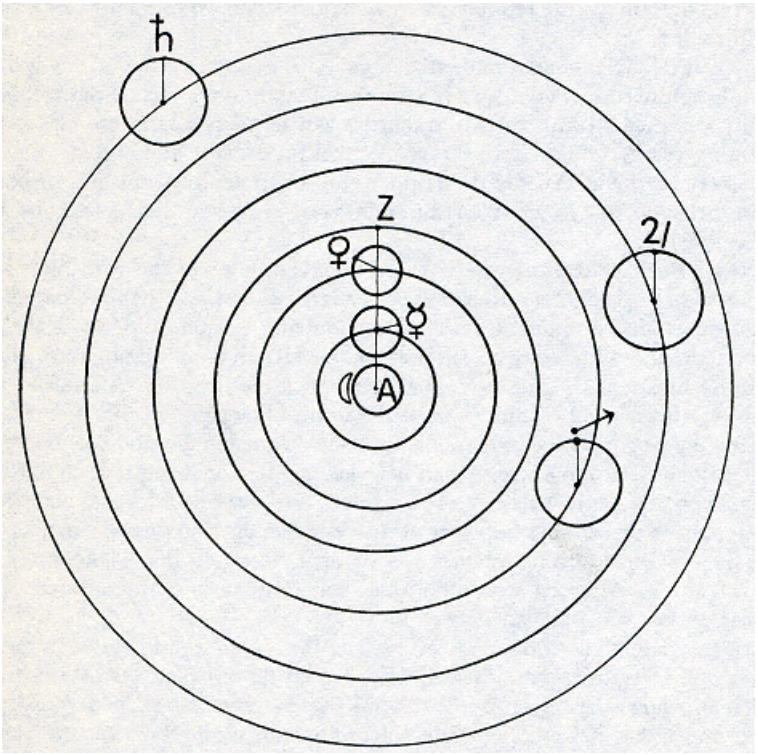


Fig. 6. Het wereldstelsel van Ptolemaios (sterk vereenvoudigd door weglating van alle excentriciteiten en vereffeningspunten). Voor de binnenplaneten Mercurius (☿) en Venus (♀) valt de voerstraal van het epicykelmiddelpunt samen met de lijn Aarde-Zon; voor de buitenplaneten Mars (♂), Jupiter (♃) en Saturnus (♄) is de voerstraal in den epicykel evenwijdig aan de lijn Aarde-Zon. De verhoudingen zijn niet op schaal weergegeven.

Ptolemaios voor de astronomie en daardoor voor de gehele geschiedenis van het denken gehad heeft, geven we hier nog een globaal overzicht van zijn bouw. Hierbij moet echter gewaarschuwd worden voor het niet ongebruikelijke misverstand, als zouden in deze schets van de grote lijnen de eigenlijke inhoud en de ware verdiensten van de theorie tot haar recht komen. Dat is geenszins het geval; voor alle hemellichamen is de beweging veel gecompliceerder en de aansluiting aan de waarneming daardoor veel beter dan men op grond van de tekening zou vermoeden. Niet alleen zijn hierin alle excentriciteiten en alle vereffeningspunten weggelaten, maar bovendien is bijvoorbeeld bij de maan noch met de helling van de maanbaan ten opzichte van de ecliptica, noch met het teruglopen van de knopenlijn, noch met de verschillende ongelijkheden van de beweging in de baan rekening gehouden. Van alle afwijkingen van de eenparige cirkelbeweging komt dus in de tekening feitelijk alleen de tweede ongelijkheid van de planetenbeweging tot haar recht.

De vèrgaande vereenvoudiging die het stelsel in de figuur heeft ondergaan, stelt ons echter in staat, duidelijk een eigenaardigheid te doen uitkomen die later de voornaamste aanleiding tot de hervorming van de astronomie zou geven. Het blijkt namelijk, dat de bewegingen van elk der vijf planeten op een of andere wijze samenhangen met die van de zon, hetgeen er natuurlijk op wijst, dat de zon maar niet een willekeurig lichaam is onder de zeven die men zich ten opzichte van de vaste sterren ziet verplaatsen, maar dat zij een wezenlijke functie in het planetenstelsel vervult. Het verband tussen planetenbeweging en zonsbeweging is namelijk dit, dat voor de binnenplaneten Mercurius en Venus het epicykelmiddelpunt steeds op de lijn Aarde-Zon ligt, terwijl voor de buitenplaneten Mars, Jupiter en Saturnus de voerstraal van het epicykelmiddelpunt naar de planeet steeds evenwijdig aan die lijn is. Venus en Mercurius schijnen daardoor steeds binnen bepaalde grenzen om de zon te schommelen. De buitenplaneten kunnen iedere elongatie van de zon krijgen, echter is voor hen de beweging op den epicykel gebonden aan die van de zon om de aarde.

c. *Mathematische en Physische Astronomie*

77. Tegenover de zo ver ontwikkelde mathematische astronomie, waarin de hemellichamen worden beschouwd als lichtende punten waarvan de waargenomen bewegingen moeten worden geanalyseerd in eenparige cirkelbewegingen (het procédé is methodisch analoog aan de ontleding van een gecompliceerde periodieke beweging in harmonische trillingen) heeft de Oudheid nauwelijks iets te plaatsen, dat, in den zin dien men tegenwoordig aan dit woord hecht, aanspraak zou kunnen maken op den naam van physische astronomie. De vraag naar de physische samenstelling der hemellichamen wordt niet gesteld en evenmin groeit de hemel-

kinematica door een onderzoek naar de mogelijke werkoorzaak der opgespoorde bewegingen tot een hemeldynamica uit. Zowel het een als het ander hangt natuurlijk samen met de heersende kosmologische opvattingen: algemeen werden hemellichamen zelf als goden beschouwd of door goddelijke wezens bewogen gedacht en daardoor kwam de gedachte, naar de physische samenstelling te vragen òf in het geheel niet op òf ze leidde, zoals bij Aristoteles, tot de invoering van een hypothetische, in de aardse ervaring niet gegeven stof, den aether. En ook de vraag naar de oorzaak der beweging had weinig zin; we zagen reeds (I: 53), hoe de Stoa de zuiverste consequentie trok: een goddelijk wezen vindt zijn eigen weg wel.

Toch maken ook de Grieken onderscheid tussen mathematische en physische astronomie en wel in dezen zin, dat de eerste zich kan beperken tot het verzinnen van kinematische stelsels die in staat blijken de verschijnselen te redden zonder zich te bekommeren om de vraag, of en zo ja hoe deze stelsels in de werkelijke structuur van den hemel gerealiseerd zijn, terwijl de tweede daarentegen de hemelverschijnselen moet trachten af te leiden uit het wezen, de qualiteiten en de vermogens der hemellichamen. Wanneer dus een mathematisch astronoom een verschijnsel zowel met een excenter als met een epicykel kan redden - we zagen in I: 71, dat dit in principe steeds mogelijk is en Ptolemaios behandelt dan ook soms eenzelfde verschijnsel volgens beide methoden - behoeft hij zich niet te verdiepen in de vraag, welke van die twee hypothesen het meest met den aard van het hemellichaam strookt; hij mag ook de aarde als in beweging verkerend denken, als hem dat beter uitkomt dan haar als rustend te beschouwen. Aan den physicus, die daarover op grond van zijn algemene natuurphilosophische inzichten kan oordelen, zal dan echter worden gevraagd, welke de ware toedracht is; hij kan uitmaken, of de aarde al dan niet in rust verkeert; hij kan haar grootte met die van het heelal vergelijken en haar plaats daarin vaststellen; hij kan ook aantonen, waarom ze bolvormig moet zijn.

78. De hiermee omlijnde taakverdeling tussen den mathematischen en den physischen astronoom - zo is het Griekse spraakgebruik, maar wij zouden thans liever den physicus in dit verband een natuurphilosoof noemen - verdient uit een oogpunt van methodiek der natuurwetenschap onze volle aandacht. Zij maakt vooreerst duidelijk, waarom de mathematische astronomie der Grieken zulk een belangrijke bijdrage tot de latere ontwikkeling van het denken heeft kunnen leveren, terwijl de physische die ontwikkeling eer geremd dan bevorderd heeft. De eerste berustte op waargenomen en zelfs door meting exact vastgestelde feiten, die hun waarde behouden, wanneer de natuurphilosophische voorstellingen zich wijzigen, en op mathematische theorieën, die niets anders doen dan het wezenlijke van die feiten kort en overzichtelijk samenvatten en ze zo uitdrukken, dat men er conclusies uit kan trekken en voorspellingen mee

kan doen; de tweede, die van het wezen der hemellichamen wilde uitgaan, was daarentegen met handen en voeten gebonden aan een natuurphilosophie die niet in voldoende mate door een empirisch natuuronderzoek werd geschraagd, maar die integendeel, op grond van metaphysische overwegingen, de resultaten van zulk een onderzoek voor een groot deel zelf wel meende te kunnen geven.

Een treffend voorbeeld van den sterken en in het algemeen remmenden invloed dien deze opvatting van de relatie tussen natuurwetenschap en natuurphilosophie op de astronomie heeft uitgeoefend, en daarmee tevens zowel een tweede illustratie van het verschil tussen mathematische en physische astronomie als een noodzakelijke aanvulling van onze schets van wat de Grieken op deze beide gebieden bereikt hebben, wordt gevormd door de lotgevallen van de pogingen, een wereldbeeld op te stellen waarin aan de aarde een of meer bewegingen werden toegekend. Er zijn verscheidene astronomen waaraan dit denkbeeld in meer of minder vergaande uitwerking en met grotere of kleinere historische zekerheid wordt toegeschreven. Op naam van den Pythagoraeër Philolaos staat een wereldstelsel waarin de aarde, als een planeet tussen de andere, om een centraal vuur, de Hestia, draait. Hiketas en Ekphantos worden genoemd in verband met de verklaring van de dagelijkse hemelbeweging door een onderstelde dagelijkse wenteling van de aarde om haar as. Het is alleszins mogelijk, dat Herakleides Pontikos een volledig heliocentrisch wereldstelsel heeft aangehangen, waarin de aarde niet alleen een dagelijkse aswenteling bezat, maar tevens een jaarlijkse translatie om de zon uitvoerde, en het staat op grond van een mededeling van Archimedes volstrekt vast, dat Aristarchos van Samos zulk een stelsel heeft geleerd.

79. De gedachte, dat de aarde wel eens in beweging zou kunnen verkeren, heeft dus zeker niet buiten den gezichtskring der Griekse astronomen gelegen. Echter heeft ze het nooit verder kunnen brengen dan tot den rang van een interessante denkmogelijkheid: haar aanvaarding als een theorie die er aanspraak op kon maken, althans in beginsel de ware structuur van de wereld weer te geven - en zoveel van den physicus of den philosoof stak er toch wel ook in den meest mathematischen astronoom, dat hij dit als uiteindelijk doel nastreefde - is namelijk ten enen male verhinderd, doordat zij in strijd was met de grondslagen van de Aristotelische physica: een cirkelvormige beweging van de aarde strookte niet met den substantiëlen vorm van de ondermaanse elementen en daardoor was zelfs een aswenteling (een onderstelling, waarbij de aarde althans haar centrale positie in het heelal kon behouden) uitgesloten.

Vandaar dat Ptolemaios, met volkomen erkenning van de mogelijkheid, door zulk een aswenteling evengoed rekenschap te geven van de dagelijkse hemelbeweging als met behulp van een draaiing van den sterrenhemel zelf, het denkbeeld op physische gronden verwerpt. Hij ondersteunt die verwerping nog door een aantal argumenten ad hoc, die men eeuwen lang

als afdoende zou blijven beschouwen: als de aarde werkelijk om haar as draaide en wel, zoals voor de verklaring van de Westwaartse hemelwenteling nodig zou zijn, Oostwaarts, zou een verticaal omhooggeworpen steen Westelijk van het uitgangspunt der beweging moeten neerkomen; immers de aarde is tijdens de worp- en valbeweging in Oostelijke richting verder gedraaid; wolken en vogels zouden we altijd met grote snelheid Westwaarts zien gaan, daar ze de aarddraaiing niet zouden kunnen bijhouden; ook zou de wentelende aarde alle voorwerpen die niet vast aan haar verbonden zijn, van zich af moeten slingeren, zoals een wentelend rad het waterdruppels op zijn rand doet.

Deze redenering is niet alleen van belang voor de geschiedenis der astronomie; ze vult tevens de indrukken van het physisch denken der Grieken die we bij de behandeling van Aristoteles hebben opgedaan, op een welkome wijze aan: ze bevestigt namelijk nog eens het volkomen ontbreken van het inzicht in de traagheid der materie in den zin van een vermogen tot volharden in een eenmaal verkregen beweging; dat dit inzicht niet aanwezig was, bleek al uit het feit, dat de grondwet der peripatetische dynamica mèt de werking van de kracht die een beweging teweegbrengt, ook de beweging zelf laat ophouden; het wordt nu nog eens geïllustreerd door de overtuiging, dat de steen, die zo juist nog in de onderstelde aardbeweging deelde, die beweging onmiddellijk kwijt is, als de band die haar aan de aarde bond, is losgemaakt.

80. Moest dus op gezag van de Aristotelische physica aan de aarde reeds de dagelijkse aswenteling worden ontzegd, zo had natuurlijk de onderstelling van een jaarlijkse translatie om de zon in het geheel geen kans om anders dan als een curieuse paradox in de herinnering der astronomen voort te leven en de zon zelf kon dus ook onder geen beding als het naar positie centrale lichaam van het heelal worden beschouwd; dit zou volkomen in strijd zijn geweest met de principiële tegenstelling tussen aarde en hemel, die het Aristotelisch wereldbeeld kenmerkt. Dat belette echter niet, dat men niet blind kon blijven voor de centrale betekenis die de zon, niet naar haar plaats, maar naar haar invloed beschouwd, voor de gehele wereld had en dat men er dus ook niet toe kon komen, haar op gelijken rang met de maan en de planeten te plaatsen. Dit inzicht komt vooral in Stoicijnse kringen duidelijk tot uiting; men kende hier aan de zon niet alleen een overheersenden invloed toe op het leven op aarde - wat voor de hand lag - maar beschouwde haar ook als de regelende en bezielende kracht van het gehele heelal; de zon houdt den gehelen kosmos in bestendige orde - aldus bij monde van den astronoom Kleomedes de Stoicijnse wijsgeer Poseidonios -; zou zij haar plaats verlaten of zelfs geheel verdwijnen, dan zou alles verstoord worden en te gronde gaan[3]. In dezen gedachtengang behoefde het ook geen verwondering meer te baren, dat in het stelsel van Ptolemaios de bewegingen van alle planeten zich blijkbaar ten dele naar die van de zon richten, dat zij, zoals Simon

Stevin het later zou uitdrukken, ‘na het roersel des weerdichsten Dwaelders als na een koninck opsicht nemen en haer loop vervoughen’[4].

81. Dat de door physische gronden gemotiveerde verwerping van iedere astronomische theorie waarin de aarde als in beweging verkerend werd gedacht, tevens haar uitwerking als zuiver mathematische beschrijving heeft verhinderd - er bestaat althans geen enkele aanwijzing, dat deze ooit beproefd zou zijn - bewijst wel, dat de methodische scheiding tussen mathematische en physische astronomie zich in de practijk niet zo zuiver heeft laten handhaven als ze zich in theorie liet maken. Dat is geen wonder: het streven om er achter te komen, hoe de dingen werkelijk plaats hebben, zit den mens in het bloed: wanneer de astronomie meedeelt, dat zij de verschijnselen van de zonsbeweging kan redden door aan te nemen, dat de zon een excentrischen cirkel doorloopt, maar er dadelijk aan toevoegt, dat het even goed gelukt met de onderstelling, dat zij een epicyclische beweging uitvoert, zal de onbevangen weetgierigheid dadelijk de vraag stellen, wat ze nu in werkelijkheid doet. Het is dan ook niet te verwonderen, dat men de theorie van excenters en epicykels, waarmee Hipparchos en Ptolemaios zoveel succes hadden behaald, niet uitsluitend is blijven beschouwen als een zuiver mathematische beschrijving van de hemelse bewegingen, die alleen voor de technische astronomie van belang was, maar dat men telkens weer heeft trachten vast te stellen, in hoeverre hierdoor nu ook de physische structuur van het heelal werd weergegeven.

Zodra men echter de onderstellingen waarop die theorie gebouwd is ging toetsen aan de grondbeginselen der physica, moest men wel tot een gans andere beoordeling van haar waarde komen dan zolang men er slechts van eiste, dat de resultaten waartoe zij voerde met de waarneming in overeenstemming waren. In het bijzonder deed zich een onoplosbare tegenstrijdigheid voor met de Aristotelische natuurphilosophie: volgens den Stagiriet kan een natuurlijke cirkelbeweging niet anders plaats hebben dan om het onbeweeglijke wereldcentrum, ja vereist zij zelfs de aanwezigheid van een onbeweeglijk centraal lichaam, i.c. de aarde. De theorie der concentrische spheren had aan dien eis voldaan; het aannemen van een excentrische beweging werd er echter reeds onmogelijk door gemaakt, terwijl de onderstelling, dat een hemellichaam een epicykel zou kunnen doorlopen, dus zou kunnen draaien om een mathematisch punt, dat zich zelf weer zou bewegen, er nog veel duidelijker mee in strijd was. Wij weten uit een mededeling van den Aristoteles-commentator Simplikios, dat de astronoom Sosigenes op deze gronden de theorie van epicykels en excenters als physisch onhoudbaar heeft verworpen.

Natuurlijk kon de kritiek die hij, op gronden aan de Aristotelische physica ontleend, op de astronomie van Hipparchos richtte, even goed in omgekeerden zin werken. Opnieuw door Simplikios vernemen we, dat de philosoof Xenarchos uit de astronomie argumenten putte tegen de

Aristotelische leer der quinta essentia en dat hij uit het blijkbaar als onbetwijfelbaar beschouwde physische bestaan van excenters en epicykels de onjuistheid afleidde van het Aristotelische beginsel, dat natuurlijke cirkelbewegingen steeds om het aardcentrum als middelpunt moeten verlopen en een onbeweeglijk centraal lichaam vereisen. De hierdoor ontbrande strijd tussen de Aristotelische physica en de astronomie die naar Ptolemaios zou worden genoemd, is in de Oudheid nooit weer tot rust gekomen; hij heeft zich, zoals we nog zullen zien (II: 141 vlg.), in de Middeleeuwen voortgezet en pas een einde gevonden, toen de twee stelsels die er in betrokken waren, beide door de natuurwetenschap verlaten waren.

82. De aanhangers der Ptolemaeische astronomie hebben er zich door aangespoord gevoeld, de mogelijkheid van een physische realisering van het stelsel van excenters en epicykels onder ogen te zien; ze hebben de abstracte mathematische constructies van den *Almagest* verstoffelijkt tot mechanische modellen, in de hoop, zodoende de bezwaren die van physische zijde tegen hun denkbeelden werden aangevoerd, te kunnen weerleggen. Derkyllides en Adrastos hadden het reeds beproefd voor het stelsel van Hipparchos, en Ptolemaios zelf heeft zich moeite gegeven, zijn eigen mathematisch planetensysteem om te zetten in een mechanisme dat door een handig instrumentmaker in hout of metaal zou kunnen worden nagebootst en dat dan in het klein aanschouwelijk zou kunnen maken wat er in het groot aan den hemel gebeurt.

Van deze physische interpretatie van zijn stelsel bevat de *Almagest* niets; in dit werk staat de schrijver op het zuiver formele standpunt, dat het zijn taak is, de bewegingen der hemellichamen mathematisch voor te stellen en hij neemt dat standpunt zo consequent in, dat hij zich zelfs niet stoort aan de beperkingen in den aard der daarvoor toegelaten hulpmiddelen die door Plato op religieuse en door Aristoteles op physische gronden waren gesteld: de circulus aequans is immers niet meer dan een zeer doorzichtige verhulling van de verwerping van het door deze beide autoriteiten geheiligde axioma van de eenparigheid van alle hemelbewegingen.

Bovendien verklaart hij uitdrukkelijk, dat zijn enige taak bestaat in het weergeven van de verschijnselen met zuiver kinematische hypothesen, eenvoudige hypothesen zolang het kan, gecompliceerde als het moet. En hij voelt zich niet in het minst verplicht, daarbij aan de mogelijkheid van physische realisering te denken: wanneer hij de beweging van een planeet in haar baan voorstelt als resultaat van de samenwerking van een aantal cirkelbewegingen, doet hij niets anders dan een hedendaags physicus die de baan van een weggeschoten kogel wiskundig behandelt door de projecties van deze beweging op twee coördinaatassen te beschouwen. De excenters en epicykels zijn in de physische ruimte evenmin aanwezig als men bij een voortvliegenden kogel de assen van een concreet coördi-

natenstelsel kan aanwijzen, waarover zich de projecties van den kogel zouden verplaatsen.

Maar Ptolemaios is een vat vol tegenstrijdigheden Zoals hij na den streng wetenschappelijk-astronomischen *Almagest* in den *Tetrabiblos* het grote handboek der astrologie schiep, stelde hij zich in een later werk over planetenbeweging, de *Hypotheses planetarum*, ten aanzien van de physische realiteit der astronomische hypothesen op een gans ander standpunt dan hij in den *Almagest* had ingenomen. Hij streeft nu de materiële verwezenlijking na, die hij eerst zo souverein had veronachtzaamd.

83. Om een indruk te geven van de wijze, waarop hij die materialisering uitvoert, schetsen wij hier in het kort het mechanisme, dat de beweging van een buitenplaneet regelt. Twee boloppervlakken (Fig. 7) die het

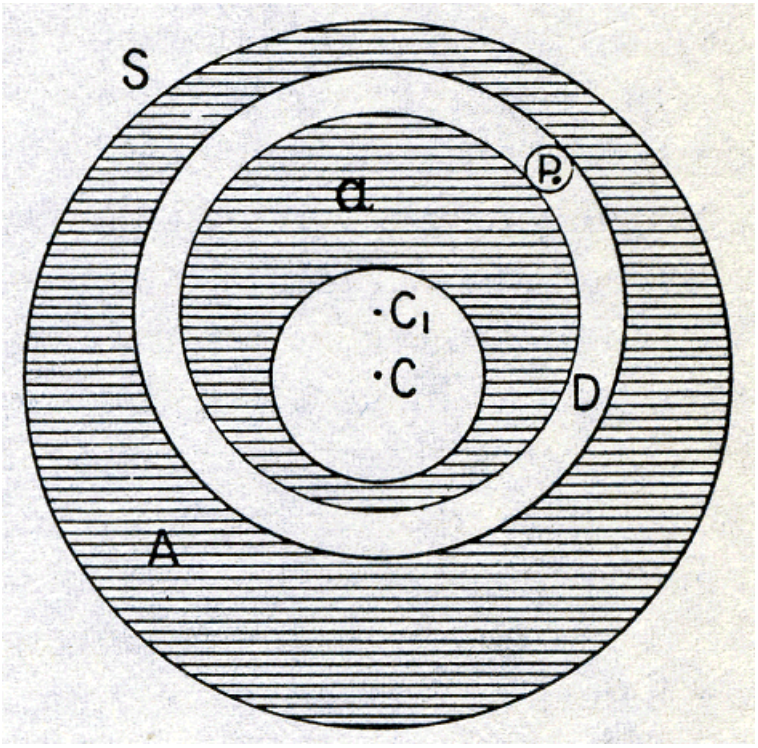


Fig. 7. Het mechanisme van de beweging van een buitenplaneet volgens de *Hypotheses Planetarum* van Ptolemaios.

wereldmiddelpunt *C* en twee andere die een ander punt C_1 tot centrum hebben, verdelen den aether zo, dat er een lege bolvormige schaal *D* overblijft (de gematerialiseerde deferens); hier binnen bevindt zich een bol *E*, die de planeet *P* draagt. De buitenste spheer *S* voert de dagelijkse hemelbeweging uit en deelt deze door bemiddeling van de aetherlichamen *A* en *a* aan *D* mee; tevens verschaft ze aan *D* de plaats die deze voor het deelnemen aan die wenteling behoeft. *D* draait tegelijkertijd volgens een eigen bewegingswet om C_1 en sleept daarbij den bol *E* mee; deze wentelt om een eigen as en doet *P* daardoor een groten cirkel beschrijven; dit is dan de eigenlijke epicykel, welke naam echter ook wel aan den bol *E* gegeven wordt, die er de materialisering van vormt. Door den epicykel als het ware in een holle ronddraaiende buis op te sluiten, hoopt Ptolemaios te ontkomen aan de bezwaren, die in verband met de homogeniteit van den aether tegen het denkbeeld van een wentelenden deferens die ergens aan zijn omtrek een epicykel zou dragen en daarmee de hemelspheren zou moeten beschadigen en ontzetten, waren ingebracht.

84. Onder de latere Griekse philosophen ontmoet men bij Proklos nog eens een duidelijke betuiging van adhaesie aan het standpunt dat Ptolemaios in den *Almagest* had ingenomen: de bewegingen waarin men de ene, in de waarneming gegeven planetenbeweging ontbindt, zijn slechts mathematische ficties, die nergens anders bestaan dan in den geest van den astronoom die de ontbinding uitvoert; de enige realiteit is de beweging die men waarneemt; het kriterium dat in staat stelt, tussen verschillende

ontbindingsmogelijkheden een keuze te doen, is dat van den eenvoud (om de beweging van een projectiel mathematisch te behandelen, kiest men immers het assenkruis ook zo, dat de vergelijkingen zo eenvoudig mogelijk worden); het enige doel dat met de opstelling van een astronomische theorie wordt vervolgd, is de hemelverschijnselen berekenbaar te maken.

Proklos wijkt in deze beoordeling van doel en draagwijdte van een astronomische theorie wel ver af van de meningen van den grondlegger der Akademie waarvan hij het laatste hoofd is. Voor Plato toch bezitten de eenparige cirkelbewegingen, waarin hij de waargenomen bewegingen van een planeet ontbonden wenst te zien, juist een veel hogeren graad van realiteit dan hun resultante; dat ze nergens anders bestaan dan in den geest van den rekenenden astronoom zou hij wel hebben beaamd, maar daaraan ontlenen ze voor hem juist alle realiteit die er aan eigen is en die slechts overtroffen zou kunnen worden door een intuïtief verstaan van de gedachten van den Demiurg, die zich in de waargenomen planeetbewegingen van verre en flauw weerspiegelen.

Overigens is Proklos wel weer in overeenstemming met het denken van zijn leermeester, wanneer hij het zuiver mathematisch-beschrijvende karakter dat hij aan een theorie van het planetenstelsel wil toekennen, beschouwt als een onvermijdelijk gevolg van de beperktheid van het menselijk verstand; intellectuele bescheidenheid moet ons er van weerhouden, meer te verlangen; tussen menselijke en goddelijke intelligentie blijft een onoverbrugbare klove gapen en het inzicht in de structuur van de hemelen ligt aan gene zijde.

Zoals het zo vaak in de geschiedenis der natuurwetenschap is gegaan, betekende ook op het gebied der astronomie de positivistische resignatie, die Proklos belijdt, een voorbarig defaitisme. Wie te snel de onmacht van den menselijken geest proclameert, ontneemt aan de wetenschap een kostbaren prikkel. Voor de astronomie is het althans een zegen geweest, dat anderen zich wèl in staat hebben geacht, dieper in de causaliteit van het natuurgebeuren door te dringen. Daardoor is het mogelijk gebleken, veel verder te komen dan Proklos ooit denkbaar zou hebben geacht en de daarbij behaalde winst is er niet door te loor gegaan, dat bij nadere kritische beschouwing vaak gebleken is, dat wat men voor een verstaan van den aard der dingen aan had gezien, toch ook niet meer dan een mathematische beschrijving van hun gedragingen was.

85. Voor de volgelingen van Aristoteles was het standpunt van Proklos in dien tijd natuurlijk al even onaanvaardbaar als in onze dagen het neo-positivisme de instemming van een neo-thomist kan verwerven. In de Aristotelische natuurbeschouwing behoort intellectuele resignatie niet thuis en buiten alle wetenschapstheorieën om streed natuurlijk reeds het denkbeeld, dat een planeet in werkelijkheid in niet-eenparige beweging een ruimtekromme zou doorlopen, met de grondslagen der gehele leer.

Vandaar dan ook, dat we aan het eind van de antieke cultuur de Aristoteles-commentatoren Simplikios en Philoponos zien terugkeren tot de methodische scheiding tussen mathematische en physische astronomie, die het alleen mogelijk maakte, de onbetwijfelbare practische waarde van het Ptolemaeische stelsel te erkennen zonder daarmee in strijd te komen met de grondbeginselen van de peripatetische natuurphilosophie. De astronoom is vrij in het verzinnen van mathematische bewegingsstelsels waarvan de resultaten overeenstemmen met wat de waarneming leert; de physicus zal echter moeten uitmaken, of er onder deze stelsels een is dat de ware toedracht van de gebeurtenissen aan den hemel weergeeft; het feit alleen van overeenstemming tussen theorie en ervaring waarborgt niet, dat dit het geval is. Van physische erkenning zijn bij voorbaat alle hypothesen uitgesloten die met vaststaande natuurwetenschappelijke beginselen in strijd zijn; daarom zal de astronoom goed doen, zich te beperken tot eenparige cirkelbewegingen; deze behoeven echter niet plaats te hebben om het wereldcentrum als middelpunt. Met deze laatste concessie getuigt Simplikios van een door de feiten maar al te zeer gerechtvaardigden twijfel aan het vermogen van het zuivere Aristotelisme, om tot een bevredigende theorie van de hemelbewegingen te komen.

D. Physica (1)

86. Een hedendaags physicus of chemicus staat heel anders tegenover de Griekse phase in de geschiedenis van zijn vak dan een wiskundige of astronoom. Zien de laatsten hun antieke voorgangers de eerste stadia doorlopen van den weg dien zij nu zelf bewandelen, voor de eersten kost het moeite, iets meer van hen te ontwaren dan een vruchteloos ronddolen op paden die nooit tot het doel konden voeren. Het verschil komt tot uiting, als men op de elementaire onderwijsmethoden van onzen tijd let: de meetkunde wordt nog steeds gedoceerd in den geest van Euclides; een leerboek voor beginnelingen in de astronomie ziet er in zijn eerste hoofdstukken nog altijd zo uit als de antieke inleidingen in de Sphaerica, zoals we die van Geminos of Kleomedes kennen; in natuur- en scheikunde worden echter van het eerste begin af beschouwingswijzen en methoden toegepast die aan de oudheid vreemd waren en het voorbeeld van de wiskunde en de astronomie zou hier reeds om deze formele reden niet kunnen worden gevolgd, dat de Griekse wetenschappelijke literatuur wel leer- en handboeken voor deze laatste vakken kent, maar voor de eerste niet.

De titels van sommige werken van Aristoteles schijnen deze bewering te logenstraffen. Is er niet een φυσική ἀκρόασις (Voordrachten over physica), een *Meteorologica*, een werk *Over Ontstaan en Vergaan* en wekken die namen niet den indruk van natuurwetenschappelijke verhandelingen?

Kennismaking met den inhoud verjaagt dien indruk snel. De *Physica* bevat voornamelijk wijsgerige beschouwingen over ruimte, tijd, beweging, continuïteit en causaliteit en wanneer er zuiver physische onderwerpen in behandeld worden, zoals de uitwerking van een kracht of de verschijnselen van val en worp, dan geschiedt dit incidenteel, niet om de physische problemen zelf, maar omdat het wijsgerig betoog tot hun beschouwing leidde. Ook het werk *Over Ontstaan en Vergaan*, waarin de elementenleer wordt ontwikkeld, is meer metaphysisch en natuurphilosophisch van aard dan physisch of chemisch in den tegenwoordigen zin van deze woorden. En hoewel de *Meteorologica* zich wèl voornamelijk met physische (speciaal geophysische) onderwerpen bezig houdt, staat ook hier de gehele wijze van behandeling zozeer onder den invloed van de Aristotelische natuurphilosophie, dat er nauwelijks enige overeenstemming schijnt te bestaan met de empirische methoden die de hedendaagse natuur- en scheikundige als onmisbaar heeft leren kennen. En vandaar, dat de hedendaagse physicus ook hier niet de verheugende gewaarwording van een terugblik in een veelbelovende jeugd ervaart, die den wiskundige of den astronoom bij de lectuur van antieke auteurs zo vertrouwd is.

87. Nu is het wel waar, dat een dieper doordringende kennismaking met de natuurwetenschappelijk georiënteerde werken van Aristoteles tot een veel meer waarderend oordeel leidt dan men bij de eerste lectuur geneigd is te vellen. Wie onbevangen, dus vrij van het vooroordeel waarmee menigeen tot den Stagiriet nadert, zijn werken leest, zal niet kunnen nalaten op te merken, dat hier een natuuronderzoeker aan het woord is, die over een uitgebreide kennis van physische verschijnselen beschikt, levendig geïnteresseerd is in hun verklaring en er op uit, die verklaring op zuiver natuurkundige gronden te geven. Vergelijkt men hem met Plato, dan wordt al spoedig duidelijk, dat de uit den *Timaios* bekende neiging, door redenering uit vooropgezette beginselen een denkbeeldige natuur te construeren en de werkelijkheid min of meer te dwingen, zich naar die constructie te schikken, thans vervangen is door een zuiver empirische instelling, gebaseerd op het inzicht, dat ware kennis der natuur slechts uit een zorgvuldig bijeengebracht ervaringsmateriaal verkregen zal kunnen worden.

Dat nu echter het vele dat Aristoteles, dank zij deze instelling, op physisch gebied bereikt heeft, quantitatief nog zo weinig is, wanneer men het vergelijkt met wat in latere eeuwen tot stand is gebracht en qualitatief daarvan vaak zo principieel verschilt, vraagt om een nadere verklaring, maar leent zich niet tot afleiding uit een enkel verklaringsbeginsel. De geringe ontwikkelingsgraad van de antieke natuur- en scheikunde kan slechts enigermate begrepen worden, wanneer men den invloed van verschillende factoren in aanmerking neemt.

88. Daar is dan vooreerst wel deze, dat een principiële erkenning van

de fundamentele functie van de ervaring in het natuuronderzoek, de overtuiging, dat de zinnen het materiaal moeten verschaffen, dat dan door het denken moet worden bewerkt, bij Aristoteles en de andere Griekse denkers over de natuur nooit een onderschatting heeft uitgesloten van de moeilijkheden die aan het verzamelen van betrouwbare ervaringskennis en aan de interpretatie daarvan verbonden zijn; wat ontbreekt is zowel de kritische gezindheid ten aanzien van wat men zelf heeft gezien of van anderen heeft gehoord, als het besef van de grote samengesteldheid van de schijnbaar meest eenvoudige physische verschijnselen.

Men mist echter niet alleen een heilzaam wantrouwen in het getuigenis van eigen en anderer zinnen, maar tevens de behoefte en het vermogen, een opgestelde verklaringshypothese op haar geldigheid te toetsen door de consequenties die er uit getrokken kunnen worden, onder opzettelijk in het leven geroepen omstandigheden te verifiëren: de empirische instelling ten aanzien van de natuur is nog niet tot een experimentele uitgegroeid, het inzicht in de belangrijkheid van waarneming nog niet door dat in de onmisbaarheid van proefneming aangevuld.

89. De vraag, wat hiervan de oorzaak kan zijn - we stellen haar speciaal naar aanleiding van de werken van Aristoteles, maar ze geldt algemeen voor de antieke natuurwetenschap - is ook weer niet met een enkel antwoord af te doen. Men kan vooreerst opmerken, dat de gedachte, een verschijnsel onder bepaalde vooraf vastgestelde omstandigheden met uitschakeling van storende invloeden te laten verlopen (men moet dan echter eerst vermoeden, dat er storende invloeden zijn en waaruit ze bestaan) en aldus de natuur te dwingen, op een enkele scherp gestelde vraag een antwoord te geven, blijkbaar lang niet zo eenvoudig en voor de hand liggend is, als ze aan een generatie die van kindsbeen af het begrip natuuren scheikunde met het begrip proefneming heeft leren associëren, wel toelijkt; de geschiedenis der natuurwetenschap leert, hoe lang het geduurd heeft, voordat men haar algemeen heeft aanvaard en tot haar verwerkelijking in staat is geweest. Vervolgens echter eist, wanneer de wenselijkheid van een experiment is ingezien, de uitvoering in den regel nog het gebruik van opzettelijk geconstrueerde toestellen, zodat de mogelijkheid, een wetenschap experimenteel te beoefenen, in hoge mate gebonden is aan den stand van de techniek, die echter op haar beurt om aan de eisen die haar gesteld worden, te kunnen voldoen, weer op natuurwetenschappelijke inzichten moet kunnen steunen (men denke b.v. aan de fundamentele betekenis die de perfectionering van de luchtpomp en de ontwikkeling der glasblazerskunst voor het ontstaan van de moderne physica gehad heeft). In de derde plaats veronderstelt het uitvoeren van een proef het bestaan van een theorie die tot het stellen van bepaalde zinrijke vragen aanleiding geeft, concrete voor experimentele toetsing vatbare beweringen of vermoedens oplevert, de behoefte aan bepaalde metingen wekt. Men

kan nu eenmaal met zonder theoretischen leidraad in het wilde weg en op hoop van zegen experimenteren, terwijl die leidraad zich ook weer niet zonder voortdurende hulp en controle van het experiment laat voortspinnen. En ten slotte: evenzeer als het zuiver heuristische experiment in betekenis voor de natuurwetenschap achterstaat bij het verifiërende, zo is ook de zuiver qualitatieve proef, die alleen moet laten zien, of een bepaald verschijnsel zich al dan niet voordoet, in belangrijkheid niet te vergelijken met de quantitatieve, waarbij het om het toetsen of opsporen van scherp omschreven uitspraken over wederzijdse afhankelijkheid van grootheden of om het meten van die grootheden gaat; meten is voor de natuurwetenschap wezenlijker dan constateren.

90. De opsomming van al deze voorwaarden waaraan de toepassing van de experimentele methode in de natuurwetenschap gebonden is, zal het nu wel begrijpelijk maken, waarom zij in de Griekse physica zo weinig levensvatbaarheid heeft getoond: de wisselwerking met de techniek ontbrak evenzeer als die met een vruchtbare theorie, terwijl de overheersing van het qualitatieve karakter, dat de physica van Aristoteles in tegenstelling tot het Pythagoraeïsme en het Atomisme kenmerkte, de toepassing van quantitatieve methoden in theorie wel niet behoefde uit te sluiten - men zou later leren, ook qualiteiten meetbaar te maken - maar in feite het ontstaan van die toepassing toch wel moest belemmeren, omdat de vraag, of en zo ja hoe men qualiteiten meten kan, toch eerst moest zijn opgelost, voordat het metend experiment een kans kon krijgen.

Hiermee is echter het complex der factoren die zelfs bij een in beginsel empirisch ingestelden onderzoeker als Aristoteles het ontstaan van een zelfstandige physica hebben verijdeld, nog niet geheel ontward. Wij moeten nog trachten te begrijpen, waarom de verlangde wisselwerking tussen empirisch onderzoek en theorie en die tussen natuurwetenschap en techniek niet tot stand zijn gekomen.

91. Dat het op het eerste punt haperde, is een onmiskenbaar symptoom, dat er iets niet in orde was met de grondbeginselen waarvan de theorie uitging. Men kan het hierover eens zijn en dan toch weer van mening verschillen over de vraag, waaruit dan dat vitium originis bestond. Was het de nauwe band, die in het Aristotelische stelsel de natuurwetenschap met de algemene wijsgerige grondslagen, i.c. met de theorie van potentie en act, verbond of de minder gelukkige keuze van de fundamentele physische onderstellingen waarin die theorie was gespecificeerd? Het lijkt waarschijnlijk, dat de eerste omstandigheid meer accidenteel dan essentieel remmend gewerkt heeft; een metaphysica die verandering als een realiteit beschouwt en er op uit is, haar intelligibel te maken, kan nooit een principieel onbruikbare basis voor een natuurwetenschappelijke theorie zijn; wel maakte, zoals we reeds opmerkten, het qualitatieve karakter dat de physica er door kreeg, het opkomen van een quantitatief-experimenteel onderzoek heel moeilijk.

De tweede factor echter, bestaande in het vooropstellen van de leer der vier elementen en van haar fundering in de theorie der eerste qualiteiten, moest een wezenlijken invloed ten kwade uitoefenen. Door deze, door de ervaring slechts zeer gebrekkig gesteunde, theorie met haar quasi-logischen samenhang tussen het aantal der elementen en dat der eerste qualiteiten, als grondslag voor zijn natuurverklaring te aanvaarden en zich nooit geschokt te tonen in de overtuiging van haar juistheid, heeft Aristoteles, zoals we achteraf met zekerheid kunnen vaststellen, een weg ingeslagen waarop voor de natuurwetenschap weinig goede kansen en veel gevaren waren weggelegd.

92. Dat hij en zijn voorgangers op grond van enkele oppervlakkige, speciaal door den tastzin geleverde, zinlijke ervaringen zo spoedig tot het opstellen van een zo algemene theorie hebben kunnen overgaan, en dat zijn opvolgers die theorie zo grif en zonder kritiek hebben aanvaard, vormt op zich zelf weer een illustratie van de boven reeds opgemerkte onderschatting van de moeilijkheid van het natuuronderzoek, die de Griekse denkers in het algemeen kenmerkt. Zonder één uitzondering, onverschillig of ze een meer of minder empirische houding ten aanzien van de natuur aannamen, hebben ze de kracht van het ongecontroleerde speculatieve denken in de natuurwetenschap te hoog aangeslagen; ze hebben geen vermoeden gehad van den zuren, moeizamen, zich schijnbaar vaak in onbelangrijke details verliezenden arbeid die verricht zou moeten worden, voordat men enig inzicht in de natuur zou verkrijgen. Nauwelijks is de philosophie zich met haar gaan bemoeien, of alle Ionische wijsgeren laten zich met de grootste stelligheid uit over den enigsten en diepsten grond waartoe de ontzaglijke verscheidenheid van haar verschijnselen te herleiden zou zijn. Parmenides bestaat het, alle verandering tot een onwezenlijken schijn te verklaren. Plato weet, hoe een Demiurg een kosmos in elkaar zet en de Atomisten tonen niet minder overmoed, wanneer ze op grond van een minimaal feitenmateriaal in qualiteitloze atomen en lege ruimte een voldoenden verklaringsgrond gevonden menen te hebben voor alles wat aan den hemel en op aarde, in ziel en lichaam gebeurt.

Het jeugdige natuurwetenschappelijk denken der Grieken, wellicht aangespoord door de grote successen die het de even jonge wiskunde zag behalen, is zich te buiten gegaan aan phantastische bespiegelingen, waarin ongetwijfeld menigmaal een kern van waarheid aanwezig was, maar waarin te weinig rekening werd gehouden met de harde werkelijkheid om tot vruchtbare theorieën te kunnen komen. Niet voor niets zegt de bejaarde Egyptische priester in den *Timaios* tot Soloon, dat de Hellenen altijd als kinderen zijn[5].

E. Techniek[6]

93. Wij noemden boven naast de ondoeltreffendheid der fundamentele theoretische onderstellingen, waardoor de zo nodige wederzijdse bevruchting van theorie en experiment verijdeld werd, als tweede oorzaak voor den geringen bloei der Griekse physica het ontbreken van de wederzijds stimulerende werking die techniek en natuurwetenschap op elkaar kunnen uitoefenen. Voor onze tegenwoordige opvattingen is die wisselwerking iets vanzelfsprekends geworden en dat levert voor onzen kijk op de oudheid een soortgelijke moeilijkheid op als we boven naar aanleiding van het thans zo evident schijnende verband van natuuronderzoek en experiment opmerkten: men stelt zich onwillekeurig voor, dat technische prestaties die op grond van zekere natuurwetenschappelijke inzichten te begrijpen zijn, daar waar ze voorkomen, de aanwezigheid van die inzichten waarborgen. Dat die voorstelling in het algemeen onhoudbaar is, kan door een zeer eenvoudig voorbeeld worden aangetoond: de Grieken hebben zeer zeker geweten - het moet in het oude Egypte reeds bekend zijn geweest - dat men een last met een geringere kracht langs een hellend vlak omhoog kan bewegen dan wanneer men haar verticaal moet optillen; echter is geen antiek natuuronderzoeker er in geslaagd, de betrekking die op een hellend vlak tussen macht en last bestaat, op te sporen. Het bleef in dergelijke gevallen bij een zuivere empeiria, een toepassen van een door routine beproefden regel zonder natuurkundig inzicht in de werking. En hoewel in verscheidene andere gevallen zulk een inzicht ongetwijfeld wel aanwezig is geweest (zo is er bij Heroon een theorie van eenvoudige werktuigen, waarin ze alle worden teruggebracht tot den hefboom, waarvoor Archimedes de theorie had geleerd) is er in de Oudheid heel wat technisch vernuft ontplooid zonder dat het natuurwetenschappelijk inzicht in wat er eigenlijk gebeurde, aanwezig was.

Dat moest echter de hulp die de techniek aan de physica zou hebben kunnen bieden door werktuigen of toestellen te leveren die aan het natuuronderzoek dienstbaar konden zijn, wel heel sterk verminderen. Men kan nu eenmaal niet experimenteren met een toestel waarvan men de werking niet begrijpt en men kan geen physische apparaten construeren, wanneer men niet weet, wat men er mee wil en kan onderzoeken.

94. Nu is het natuurlijk waar, dat de natuurwetenschap in latere tijden altijd wel een belangrijke, maar zeker niet de meest op den voorgrond tredende factor is geweest die den bloei der techniek bevorderd heeft; ze zijn integendeel in hun onderlinge wisselwerking gezamenlijk gestimuleerd door de practische eisen die de maatschappij, in het bijzonder de industrie, stelde. Daarom is het voor een juist inzicht in de lotgevallen van de Griekse natuurwetenschap en techniek van het hoogste belang, goed te beseffen, dat deze prikkelende invloed in de Oudheid weliswaar

niet geheel heeft ontbroken, maar toch in veel geringere mate heeft gewerkt dan in de drie eeuwen Westerse cultuur waarvan wij thans de onmiddellijke erfgenamen zijn.

Aan hoeveel mogelijkheden die in het Griekse weten en kunnen verborgen lagen, daardoor verwerkelijking is onthouden, kan men zich wellicht niet duidelijker voor den geest halen dan door te bladeren in twee werken, waarin de Alexandrijnse mechanicus Heroon pneumatische werktuigen en automaten beschrijft, die hij van zijn voorgangers heeft leren kennen of zelf heeft uitgevonden. Wie dat doet zal verbaasd staan over den rijkdom aan physische beginselen die hier, met meer of minder inzicht in hun werking, wordt ten toon gespreid en over het technisch vernuft waarmee die beginselen in werktuigen en toestellen zijn verwerkt. Heroon blijkt niet alleen terdege op de hoogte te zijn met de werking van de vijf fundamentele werktuigen hefboom, windas, wig, schroef en takel en talrijke daaruit samen te stellen meer gecompliceerde instrumenten, maar ook geheel vertrouwd met de beginselen van de hydro- en aerostatica, in het bijzonder met de werking van den hevel; hij maakt toepassingen van de uitzetting van gassen door verwarming en van de spankracht van samengeperste gassen en verzadigden waterdamp. Hij beschikt over evenveel physische en technische mogelijkheden als de achttiende-eeuwse uitvinders die door hun werk de industriële revolutie mogelijk hebben gemaakt. Waarom, zo vraagt men zich telkens weer af, doet hij niets, dat op hun werk lijkt en beperkt hij zich tot de constructie van instrumenten zonder enig practisch nut?

Inderdaad: wat hij in elkaar zet is niets dan een vaak kostbaar, steeds vernuftig, maar altijd volkomen overbodig speelgoed, waarmee niet beoogd wordt, den mens behulpzaam te zijn in zijn arbeid, maar alleen werkloze beschouwers te verbluffen, te vermaken en te foppen. Het zijn alles slechts θαύματα, mirabilia: toestellen, waarin vogeltjes gaan zingen, wanneer men er water in giet; een marionettentheater, waarvan de gordijnen bij een bepaalden stand der figuren vanzelf dichtschuiven om zich even later voor een nieuwe scène te openen; een wijwaterautomaat; een inrichting om de deuren van een tempel open te laten gaan, als men binnen op een bepaalde plaats een vuur ontsteekt en zo voort, vernuftig, beuzelachtig, banaal, overbodig[7].

Er is eigenlijk maar één gebied aan te wijzen, waarop men practisch partij heeft getrokken van de aanwezige technische mogelijkheden en wel dat van de oorlogvoering: de belegerings- en verdedigingskunst kreeg de beschikking over krachtige ballistische werktuigen. Maar de werken des vredes hebben er nooit van geprofiteerd.

95. De geringe ontwikkeling van een op een nuttig economisch effect gerichte techniek - het is een verschijnsel dat reeds in de Helleense stadstaten van de Gouden Eeuw opvalt, maar dat nog veel meer verbazing wekt als men het ziet optreden in het kosmopolitische handels- en in-

dustriecentrum Alexandria - hangt ongetwijfeld samen met het in de gehele oudheid vigerende en zelfs door denkers als Plato en Aristoteles als volkomen normaal beschouwde instituut der slavernij, al zou het niet gemakkelijk zijn, uit te maken, in hoeverre het er door te verklaren is. In ieder geval zal het feit, dat men over levende machines naar willekeur kon beschikken, de behoefte aan hulp van levenloze werktuigen wel verminderd hebben, temeer omdat humanitaire overwegingen ook geen motief voor het inroepen van die hulp vormden. Wanneer men echter machines overbodig heeft geacht, omdat men toch slaven had (efficiëntie in den modernen zin van het woord was geen Grieks ideaal) moet er wel een vicieuse cirkel zijn ontstaan: bij gebrek aan machines kon men ook de slaven niet ontberen.

Het instituut der slavernij kan echter nog op een andere wijze een remmenden invloed op de ontwikkeling van een op het nuttige gerichte techniek hebben uitgeoefend en wel door de zeer geringe maatschappelijke waardering in het leven te roepen of, zo ze op andere gronden al bestond, te bestendigen, die alles wat op verhoging van de stoffelijke welvaart door eigen inspanning gericht was, bij de toonaangevende geesten der antieke maatschappij ondervond. Of men het werken met de handen minachtte, omdat het door slaven verricht werd of het aan de slaven overliet, omdat het als minderwaardig werd beschouwd, kan in het midden blijven, omdat ook hier waarschijnlijk een fatale wisselwerking heeft bestaan, een feit is echter, dat al wat zuiver hoofdwerk vereiste, de latere artes liberales of vrije kunsten, in de maatschappelijke waardering hoog verheven was boven het al of niet door machines ondersteunde handwerk, de ambachten en het ingenieurswerk, die onder den naam van artes mechanicae kunnen worden samengevat en waarbij ook de beeldende kunsten kunnen worden ingedeeld. De artes mechanicae passen den vrijen Helleen niet; iedere werkzaamheid die den mens in te nauw contact met de materie brengt, werkt degraderend; het leven van den vrije behoort gekenmerkt te zijn door de σχολή, het otium, den vrijen tijd; daarmee vergeleken is het gebonden zijn aan een werk, de ἀσχολία, het neg-otium, minderwaardig.

Deze opvatting, die nog eeuwenlang een schadelijken invloed op de natuurwetenschap zou uitoefenen - het contact met de materie is daar onvermijdelijk en het werk met de handen onmisbaar - vindt op tal van plaatsen bij de meest gezaghebbende auteurs een onomwonden uitdrukking. Plato verbiedt in de *Leges*, dat een burger een mechanisch bedrijf zal uitoefenen[8] en wanneer hij den *Gorgias* gewezen heeft op het belang dat de staat bij het werk van den ingenieur heeft, verzuimt hij niet te laten uitkomen, dat deze in maatschappelijk opzicht toch niet meetelt[9]. Ook Aristoteles wil in den idealen staat geen ambachtsman als burger opnemen[10] en in de *Ethica Nicomachea* stelt hij het contemplatieve leven hoger dan de hoogste vormen van practische werkzaamheid[11].

Het meest illustratief is wellicht nog wat Plutarchus[12] verhaalt over

de opvattingen van Archimedes, die zelf, behalve een geniaal wiskundige, een beroemd technicus was, vermaard om zijn planetarium, zijn waterorgel en zijn cochlias (waterschroef) en om het machtige oorlogstuig waarmee hij Syracuse tegen de Romeinen hielp verdedigen. Volgens den wijsgeer van Chaeronea dan - maar het is niet onmogelijk, dat hij zijn eigen sterk Platonisch gekleurde zienswijze een woordje mee laat spreken - zou Archimedes dit alles slechts als 'bijproduct van een schertsende meetkunde' hebben beschouwd, die hij alleen op aandringen van koning Hieroon uitoefende; hij zou 'het construeren van werktuigen en in het algemeen iedere vaardigheid die om het practisch nut wordt uitgeoefend, laag bij den gronds en onedel' hebben gevonden en zijn streven slechts hebben willen richten 'op die dingen, die in hun schoonheid en voortreffelijkheid buiten alle contact met de noodzakelijkheid blijven'. Ook wanneer hier Plutarchus meer aan het woord is dan Archimedes zelf, blijft de uitlating typerend voor een in geleerdenkringen blijkbaar gangbare Griekse opvatting.

Een enkele maal wordt het oordeel wel eens wat zachter: zo stelt de Stoicijn Poseidonios de kunst van den technicus weliswaar beneden de artes liberales, maar toch ver boven de vulgaire bedrevenheden die generlei verband met de eer en de deugd hebben, zoals de kookkunst; volgens hem zijn de technische kunsten aanvankelijk zelfs door wijzen uitgevonden, die daarna echter de beoefening aan lager geplaatsten hebben overgelaten. Maar zijn geestverwant Seneca, die deze denkbeelden overlevert, wil zelfs deze concessie niet laten gelden: men kan niet tegelijk den wijsgeer Diogenes en den technischen duivelskunstenaar Daidalos bewonderen; men moet niet vernuftige uitvinders voor grote geesten houden, die omhoog zien; hun geest is gekeerd, hun lichaam gebogen naar de aarde[13].

F. Aesthetische, axiologische en teleologische beschouwingen[14]

96. Het sterke verschil in de maatschappelijke waardering van artes liberales en artes mechanicae is slechts één symptoom uit vele van de typisch Helleense gewoonte, in axiologische tegenstellingen te denken, altijd te willen uitmaken, welke van twee vergelijkbare werkzaamheden, eigenschappen of hoedanigheden het hoogst staat, het beste, het nobelste of het volmaaktste is. We zagen reeds, hoe de Pythagoraeërs het eindige boven het oneindige, het onevene boven het evene, het vierkante boven het rechthoekige, het mannelijke boven het vrouwelijke stelden. Plato wordt niet moede te betogen, hoezeer de idee wel superieur is aan de verschijning, Aristoteles stelt tegenover de onvolkomenheid van het aardse de volmaaktheid der hemelspheren. Zo is ook de eenparige beweging beter dan de niet-eenparige, een regelmatig veelvlak overtreft

een willekeurig polyeder in waarde, maar wordt zelf weer overtroffen door den bol.

Deze voor de natuurwetenschap in haar consequenties zeer belangrijke neiging tot axiologische onderscheiding - een neiging die zo op de spits gedreven wordt, dat er aanleiding is om van axiologisme te spreken - blijkt in den regel nader bepaald te worden door aesthetische en teleologische gezichtspunten; het ene wordt boven het andere gesteld, omdat het schoner of omdat het doelmatiger is. En men verbindt daaraan de optimistische visie dat de Natuur (φύσι□, natura naturans) er steeds naar streeft, zich naar deze menselijke overwegingen te richten. In tal van varianten wordt het uitgesproken, dat zij steeds datgene tracht te doen wat voor den mens goed en voordelig is, dat zij het beste van het mogelijke tracht te verwezenlijken, niets onredelijks doet, nooit vruchteloos of doelloos (μάτην) te werk gaat en steeds met een minimum aan middelen een maximum aan prestatie weet te bereiken. Wat als schoon moet worden aangemerkt, wordt daarbij voornamelijk beoordeeld naar arithmetische of geometrische criteria: de getallen 3, 5 en 10 verdienen voorkeur boven andere en een meetkundige vorm staat des te hoger, naarmate hij regelmatiger is.

97. Het kan den schijn hebben, alsof de overtuiging, dat de natuur (thans natura naturata) gezien moet worden als een kunstwerk van schone doelmatigheid, juist geen ruimte overlaat voor het denken in axiologische tegenstellingen. De zaak is echter deze, dat er wel een streven bestaat naar het schone en volkomene, maar dat er altijd tegenwerkende krachten zijn die dit streven min of meer verijdelen. Deze krachten schuilen in de materie, die daardoor reeds bij Aristoteles, naast haar oorspronkelijk karakter van mogelijkheid, vatbaarheid en geschiktheid, dat van weerbarstigheid krijgt. Het gelukt den vorm niet steeds even goed, de materie te informeren; er is altijd kans op wanproducten. En in het Platonisme en neo-Platonisme wordt de materie zelfs een positief tegenwerkend principe, waarmee de Wereldziel strijd te voeren heeft, waarin de emanatie van het volmaakte en zuivere Ene zich uiteindelijk vertroebeld en verontreinigd ziet. De logos, aldus Plutarchus, houdt de materie vast in geometrische vormen, waaraan zij zich altijd weer tracht te ontworstelen. Zo kent de natuur dus toch haar tegenstellingen en kan de aarde als het minderwaardige tegenover den volmaakten hemel worden gesteld met als overgang de maan, die schoon is als men haar met aardse lichamen vergelijkt, maar die naast de verder van ons verwijderde, dus dichter bij het goddelijke gelegen en daardoor zuiverder lichamen slechts een pover figuur slaat.

De invloed dien de aesthetisch-teleologisch bepaalde waardebeoordeling op de antieke physica gehad heeft, kan niet zonder meer als schadelijk worden beschouwd. In sommige gevallen is ze dat zeer zeker wèl geweest en wel vooral, waar ze tot een principiële scheiding tussen aardse

en hemelse physica en tot het dogma van de onveranderlijkheid des hemels voerde. Op andere punten heeft de axiologie echter als leidraad voor het physisch denken ongetwijfeld een zelfden invloed ten goede uitgeoefend als in latere eeuwen nog vaak van verwante beschouwingswijzen zou uitgaan. Ze heeft reeds dadelijk bewerkt, dat het denkbeeld van een bolvorm der aarde tegen het schijnbaar evidente getuigenis der zinnen in in het Griekse denken heeft kunnen postvatten. In de geometrische optica deed zij het belangrijke beginsel opmerken, dat een lichtstraal die een oog via een vlakken spiegel met een in dien spiegel waargenomen object verbindt - volgens de meest gangbare antieke theorie van het zien is dit de gang dien de gezichtsstraal neemt - den koristen weg kiest, waarmee het prototype was opgesteld van de latere extremaalprincipes der mechanica. En in de wiskunde leidde zij tot aandacht voor de klasse der z.g. isoperimetrische problemen, beginnend met de stelling, dat van alle geometrische lichamen de bol bij gegeven inhoud de kleinste oppervlakte en bij gegeven oppervlakte den grootsten inhoud bezit. De bolvorm van het heelal en van alle hemellichamen vond in dit kennelijk voorbeeld van maximale prestatie bij minimaal materiaalgebruik een nieuwe bevestiging, terwijl de geschiktheid van den bolvorm voor wenteling de overtuiging van een draaiende beweging van al het hemelse buiten twijfel stelde.

98. Hoe belangrijk ook de plaats is die de aesthetisch-teleologische natuurbeschouwing in de Oudheid heeft ingenomen, zo is er toch één denkrichting geweest die haar steeds uitdrukkelijk heeft verworpen: in de wereld van het atomisme vindt de schoonheid geen plaats en heeft het begrip doel geen zin; de natuur doet hier alles wèl μάτην en bereikt haar effecten slechts ten koste van een mateloze verspilling.

Het is dan ook geen wonder, dat het atomisme in de Oudheid zo weinig aanhang heeft bezeten: ieder die Platonisch, Aristotelisch, Stoicijns of neo-Platonisch dacht, moest er een instinctieven afkeer van ondervinden, die met de essentie van zijn wereldbeschouwing samenhing en die evenzeer uit aesthetische als uit ethische motieven voortkwam. En wat het atomisme op het stuk van natuurverklaring presteerde was nog niet van dien aard, dat men zich gedwongen kon voelen ter wille van een kennelijk waarheidsgehalte der theorie dien afkeer te overwinnen.

Het mechanistisch denken ligt den Helleen in het algemeen niet; het zou zelfs zijn instemming niet hebben kunnen verwerven, wanneer het zich - wat bij Demokritos, Epikouros en Lucretius nog allerminst het geval is - had aangeboden in den vorm, waarin het later de wereld zou tekenen als een perfecte doelmatige machine, die door bovenmenselijke wijsheid tot stand was gebracht, in beweging was gesteld en aan zijn lot was overgelaten. De Kosmos zou dan een zielloos ding zijn en tegen die onderstelling verzet zich het Griekse denken in de grote meerderheid van zijn vertegenwoordigers met volle kracht. Telkens weer komt in de opvolgende phasen van ontwikkeling die de Griekse kosmologie door-

lopen heeft, de overtuiging tot uiting, dat de Kosmos een levend, bezield geheel is. Het levende is immers machtiger dan het levenloze, het bezielde nobeler dan het onbezielde en dus - weer doet het axiologisch denken zijn invloed gelden - is het onaannemelijk, dat de Kosmos dood zou zijn. Zo krijgt, als uiterste consequentie van het axiologisme logisch gemotiveerd, maar in feite een uitvloeisel van een diep liggende gevoelsbehoefte, het animisme in de natuurwetenschap een onaantastbare positie. Thales had het reeds in 600 v. Chr. geformuleerd in de twee uitspraken[15], dat alles vol Goden is en dat de magneetsteen een ziel blijkt te hebben, daar hij een stuk ijzer kan aantrekken, maar in de eindphase van het Griekse denken vormt het nog een even wezenlijk element van het neo-Platonisme.

G. Physica (11)

99. Wat we in het bovenstaande over de Griekse physica hebben meegedeeld, had meer de bedoeling den geest waarin ze beoefend werd te karakteriseren, dan de concrete resultaten op te sommen die ze bereikt heeft. Terloops is echter hier en daar al iets over die resultaten gezegd en veel is er niet aan toe te voegen. Op enkele punten vereist het verhaal echter noodzakelijk aanvulling.

Het eerste is dit, dat de Aristotelische theorieën van val en worp in de Oudheid zelf niet onweersproken zijn gebleven. De commentator Johannes Philoponos spreekt op grond van ervaring de bewering tegen, dat een lichaam des te sneller valt, naarmate het zwaarder is: voor lichamen die niet zeer aanzienlijk in gewicht verschillen, blijken de valtijden over een gegeven afstand niet merkbaar te verschillen. Voorts verwerpt hij de theorie die den motor conjunctus van een projectum separatum in het omringende medium zoekt; volgens hem is als motor conjunctus een zeker onstoffelijk bewegend vermogen te beschouwen, dat de projector bij het werpen aan het projectum heeft meegedeeld[16]. Wij zullen dit denkbeeld in de impetus-theorie der Scholastiek terugvinden (II: 111).

100. Physische experimenten worden te hulp geroepen door de mechanici Philoon van Byzantium en Heroon van Alexandria om argumenten tegen de mogelijkheid van een vacuum te verschaffen. Zij gebruiken daarvoor de verschillende in de Oudheid bekende pneumatische (d.w.z. in feite door luchtdruk veroorzaakte) verschijnselen die nog eeuwenlang de besprekingen over dit onderwerp zullen beheersen: de werking van de pipet (klepshydra), van het door de medici gebruikte kopglas en van den hevel. Dat in al deze toestellen een vloeistof tegen zijn natuur in omhoog gaat, beschouwen zij als een bewijs, dat er geen vacuum tussen lucht en water zou kunnen ontstaan. Voor de directe physische verklaring van het opstijgen wijzen zij er op, dat water en lucht op grond van hun verwanten aard zo aan elkaar grenzen, dat het grensvlak van beide deel uitmaakt;

zij zitten daardoor als door een soort van lijm aan elkaar vast en wanneer men in de pipet de lucht opzuigt, moet het water volgen. In denzelfden zin wordt de werking van pipet en hevel opgevat door de antieke commentatoren van Aristoteles, die het echter niet nodig vinden om op deze wijze nog eens de onmogelijkheid van een vacuum betogen, daar deze naar hun mening door den Stagiriet op wijsgerige gronden voldoende is aangetoond. Philoon en Heroon, die als mannen van de practijk zich zo goed mogelijk rekenschap trachten te geven van de verschijnselen waarmee zij te maken krijgen, zonder dat ze zich veel zorgen maken om de systematiek van hun physisch denken, verwerpen weliswaar met Aristoteles het makrovacuum, maar hebben er geen bezwaar tegen, van de Atomisten de voorstelling van een mikrovacuum over te nemen. De Stoicijn Poseidonios aanvaardt bij monde van den astronoom Kleomedes het eerste, terwijl hij het laatste verwerpt.

101. Een belangrijk aspect van de antieke physica wordt gevormd door de verschillende theorieën, waarin getracht wordt, rekenschap van het zien te geven en waarvan hier een kort overzicht moge volgen[17]. Volgens de meest verspreide theorie, die der gezichtsstralen, bestaat het zien hierin, dat uit het oog stralen treden, die de waar te nemen lichamen als het ware aftasten en er daardoor een indruk van geven. De Atomisten nemen aan, dat we de lichamen zien, doordat deze beeldjes (εἴδωλα, simulacra) uitzenden, die in onze ogen binnendringen en dan gewaarwordingen opwekken; volgens een andere eveneens atomistische theorie komen niet de beeldjes zelf in het oog, maar doet dit een afdruk die zij in de door inwerking van de zon verdichte lucht hebben gemaakt. Plato, ook in deze aanknopend bij Empedokles, laat in zijn theorie der synaugeia stralen die uit het oog komen, zich vermengen met uitvloeisels der lichamen; er vormt zich daardoor een brug tussen het waargenomen object en het gezichtsorgaan, die van het eerste uit beïnvloed wordt en in het tweede gewaarwording opwekt.

Aristoteles breekt als eerste met de gedachte, dat zich tussen het object en het oog iets lichamelijks zou moeten bewegen; het zien bestaat volgens hem uit een inwerking van het object op het gezichtsorgaan door bemiddeling van een doorzichtig medium, waarvan het diaphane karakter echter eerst door lichtgevende stoffen (vuur en aether) geactualiseerd moet worden om die functie te kunnen vervullen. Het actueel diaphane medium kan nu de werking van de kleuren der objecten naar het oog overbrengen; deze zijn de eigenlijke oorzaak van het zichtbaar worden der lichamen, terwijl de verlichting slechts de daarvoor vereiste omstandigheden schept.

Volgens een Stoicijnse theorie komt uit het centraal orgaan van de ziel (het z.g. hegemonikon) een gezichtspneuma, dat door de oogpupil naar buiten treedt en in de lucht tussen object en oog een tonos teweegbrengt; met behulp van deze gespannen lucht tast het oog nu de voorwerpen af, waardoor het een indruk van hun vorm ontvangt.

De neo-Platonici verklaren ten slotte het zien geheel psychisch: er is een sympathie tussen oog en object, waardoor de ziel zonder bemiddeling van stralen, beelden of een medium de voorwerpen in zichzelf ziet. Gewaarwording is een wilsact.

Zo liet de Oudheid een grote verscheidenheid van voorstellingen over het zien na, waaruit latere eeuwen rijkelijk zouden putten.

Op het gebied der optica mogen verder nog de theorieën over holle sphaerische en parabolische spiegels worden vermeld, die door Apollonios, Diokles, Ptolemaios en Anthemios zijn opgesteld of weergegeven en een experimenteel onderzoek van Ptolemaios over breking van het licht. Hij mat met behulp van een verdeelden cirkel met vizierinrichting met een nauwkeurigheid van ½° invals- en brekingshoeken voor overgang van lichtstralen uit lucht in water of glas en uit water in glas zonder dat hij er echter in slaagde, het functionele verband dat tussen de bijeenbehorende hoeken bestaat, op te sporen. Vertrouwdheid met het brekingsverschijnsel blijkt verder uit de bekendheid van eenvoudige demonstratie-proeven; aan het in acht nemen van de atmospherische refractie bij astronomische waarnemingen werd echter nog niet gedacht.

H. Chemie[18]

102. Het kan bij een eerste beschouwing lijken, alsof van een antieke chemie nauwelijks gesproken kan worden, omdat er in de Oudheid niets schijnt te zijn, dat voldoende overeenstemming met de latere scheikunde vertoont, om reeds dezen naam te verdienen. Dat moge waar zijn, indien men alleen op de verkregen resultaten let, het geldt allerminst, wanneer men de doelstelling in het oog vat. Theorieën over den opbouw van de verschillende stofsoorten uit elementen, over de wederzijdse omzettingen die deze zelf, en de substantiële veranderingen die de samengestelde stoffen daardoor ondergaan, behoren formeel ongetwijfeld tot de chemie, en de empirisch-technische kennis van stofbewerking, zoals de Grieken die o.m. op metallurgisch gebied bezaten, niet minder. En toen in de eerste eeuwen van de Christelijke jaartelling de fundamentele antieke natuurphilosophische denkbeelden over de stof met een door de technologie der Egyptenaren verrijkt ervaringsmateriaal in de theorieën der alchemisten versmolten, werd ook in feite het eerste hoofdstuk van de geschiedenis der chemie geschreven.

Men heeft, vooral in de 19e eeuw, de relatie van de alchemie tot de chemie vaak anders gezien. De handhaving van het verschil in benaming wijst daar al op. De alchemie werd niet als een phase in de ontwikkeling van de chemie beschouwd, maar als haar ontkenning; zij was een betreurenswaardige aberratie en haar geschiedenis die van een dwaling, waaraan men liefst niet al te veel aandacht moest schenken. Tot deze

opvatting droeg natuurlijk de bij vele chemici van dien tijd levende overtuiging van de ondenkbaarheid van een transmutatie der metalen, die de alchemie juist wèl had nagestreefd, in sterke mate bij. Een ander motief werd ontleend aan het feit, dat zij op den duur is ontaard in een uit vuig winstbejag bedreven charlatanerie.

Deze opvatting is echter onhoudbaar. Vooreerst mag men niet onder den indruk van al de eerlijke fantasterij en het oneerlijke bedrog, die inderdaad op den duur in de alchemie de overhand hebben gekregen, over het hoofd zien, dat de grondgedachten waarvan zij aanvankelijk is uitgegaan, zich zo ongedwongen uit belangrijke Griekse philosophemen laten afleiden, dat zij ten minste wel dezelfde aandachtige beschouwing verdienen, als men aan deze zo gaarne wijdt. En vervolgens moet men wel bedenken, dat iedere theorie die een prikkel tot empirisch natuuronderzoek inhoudt, hoe onhoudbaar zij ten slotte ook blijkt te zijn, altijd een positieve bijdrage tot den groei der natuurwetenschap levert. De kennis der natuur is ons niet aangeboren en ze komt ons ook niet aangewaaid in het studeervertrek. Zij moet door zwoegen en sloven verworven worden en de geschiedenis der natuurwetenschap heeft daarom alle aanleiding, iedere beschouwingswijze die de mensen er toe drijft, zich die moeite te getroosten, op hogen prijs te stellen. Het oude verhaal van de zoons die naar aanleiding van een uitlating van hun stervenden vader over een verborgen schat, hun wijnberg gingen omspitten en die daardoor weliswaar niet vonden wat ze verwachtten, maar zich wèl indirect verrijkt zagen, doordat ze door hun arbeid de vruchtbaarheid van den bodem hadden verhoogd, vindt in de ontwikkelingsgeschiedenis van de chemie een volmaakte parallel: de illusie der alchemisten, goud te kunnen bereiden, heeft eeuwen lang onderzoekers er toe gedreven, de stoffen die zij in de natuur aantroffen, aan allerlei physische en chemische bewerkingen te onderwerpen en uit de zo verworven ervaring is ten slotte iets gegroeid dat kostbaarder is dan goud, de moderne chemie.

De theoretische grondslag van de alchemie wordt gevormd door de algemeen aanvaarde wijsgerige voorstelling van een oerstof waaruit alle bestaande lichamen gevormd zijn en wel speciaal in dezen vorm, dat er gedacht werd aan een qualiteitloos substraat, waaruit door het inplanten van verschillende hoedanigheden de verscheidenheid der stoffen zou zijn gegroeid. De aansluiting aan de alchemie komt het meest ongedwongen tot stand, wanneer men denkt aan het onbepaalde ἄπειρον waaruit Anaximander de gehele materiële wereld had laten voortkomen of aan het ἐκμαγεῖον waarvan Plato in den *Timaios* spreekt[19], de kneedstof, die hij vergelijkt met het zoveel mogelijk reukloze materiaal waarvan de zalfbereiders bij de vervaardiging van welriekende zalven uitgaan, of met de vormloze weke stof waaraan de boetseerder een bepaalde gedaante geeft. Minder nauw is de verwantschap met de Aristotelische materia prima, die, in strikten zin opgevat, geen substantie is, maar een abstract meta-

physisch principe, dat alleen door het denken te onderscheiden is van den evenmin zelfstandig bestaanden vorm die haar tot een bepaalde substantie stempelt. Echter had dit subtiele begrip in de meer naar het handtastelijke neigende philosophie der Stoa al spoedig hetzelfde substantiële karakter verkregen dat ook de voor-socratische natuurphilosophen steeds aan hun ἀρχή, hun stoffelijk grondbeginsel, hadden toegekend. Bovendien werden nu de qualiteiten zelf als iets stoffelijks beschouwd, dat men aan de oerstof kon toevoegen of aan een reeds gevormde stof kon onttrekken. Daarmee was echter het denkbeeld van transmutatie, van omzetting van de ene stof in de andere, al zover voorbereid, dat het nog slechts op formulering wachtte: wanneer het mogelijk zou zijn, een stof van alle specifieke qualiteiten te ontdoen en de verkregen naakte oermaterie met de nodige nieuwe qualiteiten te bekleden, zou men iedere gewenste stof kunnen bereiden.

Deze gedachte werd nu in het bijzonder toegepast op de metaalveredeling, de omvorming van de onedele metalen ijzer, koper, lood en tin in de edele, goud en zilver, en daarmee was het doel gesteld dat voortaan als kenmerkend voor de alchemie zou worden beschouwd.

Het nauwe verband waarin de theoretische grondslag der alchemie tot het wijsgerig begrip oerstof staat, bepaalt echter nog niet de eigenaardige spheer waarin zij beoefend werd. Om deze te kunnen benaderen moet men nog rekening houden met den animistischen geest die de gehele Griekse natuurphilosophie, voorzover niet atomistisch gericht, altijd vervuld heeft, met de door de Stoa krachtig bevorderde gedachte van kosmische sympathie en van parallelisme tussen makro- en mikrokosmos, met de magische en astrologische denkbeelden die van het Oosten uit in de Hellenistische wereld waren doorgedrongen en met de mythologische inkleding van alle toegepaste procédé's, die de oorsprong van het vak in Egypte met zich meebracht.

103. Het zal duidelijk zijn, dat dit niet een spheer was, waarin men scherpe begripsbepaling en exact woordgebruik kan verwachten. Het is dan ook niet wel mogelijk, een algemeen geldige omschrijving te geven van de theoretische grondslagen, waarop de alchemistische bewerkingen berustten en van de wijze, waarop ze werden uitgevoerd. Een veel voorkomende opvatting schijnt deze te zijn geweest, dat de onedele metalen eerst in een proces, dat als het zwart maken (μελάνωσις of μέλανσις) bekend staat, moesten worden herleid tot een primitieven oertoestand, de *nigrido*, het *chêmî* (het zwarte), die dan vervolgens in een kleuringsproces de voor de edele metalen kenmerkende kleur moest verkrijgen, wit wanneer het om zilver-, geel als het om goudbereiding te doen was; op de melanosis moest dus het witmaken (λεύκωσις) of het geelmaken, (ξάνθωσις) volgen. De kleur werd beschouwd als de eigenlijke kenmerkende en doorslaggevende qualiteit: wanneer men er in slaagde, iets te maken dat nog geler was dan natuurlijk goud, was men tevens overtuigd iets te

bezitten dat nog nobeler en kostbaarder was. Er is daarom ook vaak sprake van tincturen of kleurgevende pneumata, waardoor de onedele metalen veredeld werden.

104. Op den duur ontwikkelde zich echter, kennelijk onder invloed van magische voorstellingen, als centraal begrip van de alchemie het denkbeeld van een enkel veredelend agens dat, aan een onedel metaal toegevoegd (in alchemistische termen: op onedel metaal geprojecteerd), dit in zilver of goud zou kunnen omzetten. Dit tovermiddel, dat op de wijze van een giststof of een zaad reeds in zeer kleine hoeveelheden werkzaam werd gedacht, wordt met een groot aantal namen aangeduid, waarvan de term Steen der Wijzen (*lapis philosophorum*) wel de meest bekende is geworden. Het wordt in allerlei vormen beschreven, meestal echter als een zwaar poeder, dat in verschillende graden van volmaaktheid kan voorkomen, in een witte variëteit, waarin het metalen in zilver, in een rode, waarin het ze in goud omzet. Het voltooit dan feitelijk het door storende invloeden onderbroken natuurlijke groeiproces van de metalen in de aarde, waar ze volgens Aristotelische voorstelling uit droge aardse en vochtige waterige uitwasemingen ontstaan. Het einddoel dat de Natuur daarbij op het oog heeft, is steeds goud; onedele metalen zijn op weg naar dit doel blijven steken. Het is een voorstelling die past in de algemene Aristotelische opvatting, dat al het natuurlijke streeft naar een meer volmaakten vorm; opnieuw blijkt, hoezeer de alchemie een geesteskind van de Griekse philosophie is.

Voor de geschiedenis van de chemie is in deze beschouwing vooral van belang, dat de speculaties over het ontstaan van metalen en mineralen in de aarde op den duur hebben geleid tot de opstelling van een theorie waarin in plaats van de droge en vochtige dampen van Aristoteles zwavel en kwik als de eigenlijke constituerende elementen van alle in de aarde aan te treffen stoffen werden beschouwd[20]. Met de namen zwavel en kwik werden daarbij echter niet de empirische stoffen van dezen naam bedoeld, maar het z.g. sophische sulfur (ook ziel, zaad of quintessens van zwavel genaamd) en het sophisch mercuur (vitaal kwik of kwik der philosophen), die door afscheiding van aardse onvolkomenheden en zuivering opv. uit goud en zilver te bereiden zijn en waaruit door een geheimzinnige bewerking in een hermetisch vat de Steen kan worden verkregen.

De beide hiermee ingevoerde hypothetische zuivere oerbestanddelen zullen voortaan in plaats van de oorspronkelijke Aristotelische elementen (waaruit intussen ook zij bestaan) voor de chemie als elementen van alle stoffen fungeren. Beide zijn zij dragers van zekere physische en chemische qualiteiten: sulfur van brandbaarheid en kleur, mercuur van metalliciteit en smeltbaarheid. Het typerende van een uitsluitend qualitatieve natuurbeschouwing komt hier duidelijk tot uiting: iedere qualiteit vereist een stoffelijken drager; het is dezelfde gedachtengang die nog in de achttiende eeuw aanleiding zal geven tot de invoering van het phlogiston als principe van brandbaarheid.

105. Het strookt geheel èn met den animistischen inslag van de Griekse natuurwetenschap èn met de Griekse behoefte, steeds in paren tegenstellingen te denken en deze paren onderling door analogieën te verbinden, dat de onderscheiding van sulfur en mercuur wordt geïdentificeerd met die van het mannelijke, actieve, geestelijke en het vrouwelijke, passieve, lichamelijke beginsel. Op den duur werd mercuur dan ook als prima materia beschouwd, die door de inwerking van verschillende spiritus (zwavels als geesten beschouwd, die echter volgens Stoicijnse zienswijze zelf ook weer materieel zijn) bevrucht wordt. Dit leidde uiteraard weer tot de vestiging van een parallelisme tussen het Werk (*magisterium*) waarin de alchemist den Steen bereidt en de geslachtelijke voortplanting bij den mens: de inwerking van den Steen op de nigrido wordt met coitus en conceptie, de daardoor ingeleide groei van het metaal naar de volmaaktheid met de ontwikkeling van de vrucht vergeleken.

106. Van hieruit wordt ook het nauwe verband duidelijk, waarin de alchemie al vroeg tot de astrologie heeft gestaan: evenals de juiste tijden voor coitus, conceptie en ontwikkeling van het embryo door den stand van de sterren bepaald worden, is het ook voor het welslagen van het Werk onontbeerlijk, rekening te houden met de posities van de planeten en de constellaties. Dit was des te meer noodzakelijk omdat men, voortbouwend op een Babylonische theorie, ook een nauwe verwantschap aannam tussen de planeten en de verschillende metalen en eveneens een wederzijdse toevoeging van de verschillende bewerkingen der alchemistische praxis aan de tekens van den dierenriem.

Na wat boven reeds over de opvatting van den mens als mikrokosmos gezegd werd, zal het ook niet meer verbazen, dat de alchemie van grote betekenis werd geacht voor de geneeskunde. De Steen heelt niet alleen de onvolkomenheden der metalen, maar evengoed die van het menselijk lichaam. Hij is het al-heilmiddel (panacea) en het elixir, dat een lang leven en gezondheid schenkt.

Zo vormt dus de alchemie in haar menigvuldige vertakkingen een wel zeer wezenlijk en typerend bestanddeel van de laat-antieke natuurbeschouwing en ze zal dit ook weer zijn van de middeleeuwse. In haar komt duidelijker dan waar elders ook de animistische qualitatieve tendentie tot uiting, die de natuurwetenschap vooralsnog zal blijven stuwen in een richting, geheel tegenovergesteld aan die waarin ze later haar grote triomphen zal vieren. Gelijkelijk verwijderd van de mathematische en van de mechanistische visie op de natuur zal ze het hare er toe bijdragen, voorlopig alle pogingen om deze beschouwingswijzen verder te ontwikkelen, te verijdelen.

We hebben ons in het bovenstaande ervan onthouden, namen van antieke alchemisten te noemen. We zullen dat ook thans niet doen, maar moeten wel een verzameling van werken vermelden, waarin hun denkbeelden voor een groot deel zijn neergelegd. Het zijn de z.g. hermetische

geschriften, een syncretistische compilatie van alchemistische theorieën, die haar naam ontleent aan den legendairen Aegyptenaar Hermes Trismegistos. Men treft in deze werken verscheidene van de boven reeds opgesomde motieven van het alchemistische denken aan, met name de aan de Stoa eigen materialistische opvatting van schijnbaar geheel geestelijke krachten, het parallelisme tussen makro- en mikrokosmos en de leer der algemene sympathie.

J. Astrologie[21]

107. De astrologie neemt ten opzichte van de astronomie een andere positie in dan de alchemie ten opzichte van de chemie. Kan men de wetenschap scheikunde door geleidelijke ontwikkeling uit het streven der alchemisten zien voortkomen, de sterrenkunde heeft de sterrenwichelarij afgestoten en verloochend. Dit neemt niet weg, dat zij evenveel aan haar te danken heeft als de chemie aan het werk der goudzoekers. Zoals de begeerte naar rijkdom, gezondheid en een lang leven prikkelde tot proefnemingen met metalen, dreef het verlangen, de toekomst te doorgronden tot studie der hemelverschijnselen en in beide gevallen kwam de verzamelde ervaring uiteindelijk aan de natuurwetenschap ten goede.

Het is niet alleen om deze reden, dat in een schets van de antieke natuurwetenschap een korte behandeling van de astrologie niet mag ontbreken; de essentiële plaats die zij in het latere Griekse denken heeft ingenomen, zou haar veronachtzaming evenmin gedogen. Zij is weliswaar niet van echt-Helleensen oorsprong en ze is eerst vrij laat (ca. 300 v. Chr.) van uit het Oosten in Hellas doorgedrongen. De Griekse philosophie bleek toen echter al spoedig in staat te zijn om wat ze als een tamelijk onsamenhangende verzameling van denkbeelden en werkmethoden had overgenomen, van een wijsgerigen ondergrond te voorzien en de liefde tot het systematiseren, die den antieken denkers eigen was, heeft in korten tijd van wat deels religie, deels techniek was, een doctrine gemaakt die althans de formele kenmerken van een wetenschap vertoont.

De astrologie (het woord betekent eigenlijk sterren*kunde*, zou dus eigenlijk de aangewezen naam zijn voor de wetenschap die astronomie is gaan heten en wordt tot in de Middeleeuwen daarvoor dan ook vaak gebruikt) is te omschrijven als het geloof, dat de hemellichamen, hetzij vaste sterren of constellaties, hetzij planeten, door de posities die zij op bepaalde tijdstippen innemen, het gebeuren op aarde beïnvloeden, wellicht zelfs geheel bepalen en als het hieruit voortvloeiende streven, de bestiering van het mensenlot door hemelse machten met behulp van een bepaalde techniek te kunnen voorspellen.

108. Vóór de 3e eeuw v. Chr. is er in dezen bepaalden zin van het woord in de Helleense cultuur van astrologie nauwelijks sprake. Wel kende men

de astrometeorologie, een zelfstandig gegroeiden tak van natuurwetenschap, die op grond van waargenomen regelmatigheden verband trachtte te leggen tussen hemelverschijnselen en weersomstandigheden om daardoor nuttige vingerwijzingen voor landbouw en zeevaart te kunnen geven.

Intussen bereidden de philosophen echter reeds het geestelijk klimaat voor waarin de leer van den sterreninvloed tot een veel rijkeren wasdom zou komen. Plato's *Timaios*, een werk dat door de eeuwen heen de voedingsbron van alle natuurmystiek zou blijven, ontwikkelde denkbeelden over de goddelijkheid der hemellichamen en hun wezenlijke functie bij de voortbrenging, instandhouding en leiding van het leven op aarde, die er als het ware op wachtten, in astrologische theorieën te worden omgezet. En Aristoteles, hoewel in het algemeen geenszins tot mysticisme neigend, bevorderde de ontvankelijkheid voor dergelijke theorieën, doordat hij de bewegingen in het ondermaanse liet afhangen van en besturen door die der onder goddelijken invloed bewegende hemellichamen (I: 44).

In nog veel hogere mate werd echter de weg voor het binnendringen van astrologische denkbeelden geëffend door de oudere en middelste Stoa. Het Stoicisme leerde de wereld zien als een levend wezen, begiftigd met rede en gevoel, vervuld van het alles doordringende pneuma, dat een volmaakte συμπάθεια (sympathie in den zin van levenssamenhang) tussen al het bestaande bewerkt. De mens is een mikrokosmos, een verkleind beeld van het grote geheel, dat hij niet zou kunnen kennen, indien hij er niet in wezen mee verwant was. Het is de gedachte, die Manilius later zou uitdrukken in de verzen: *Quis coelum possit nisi coeli munere nosse et reperire Deum nisi qui pars ipse Deorum est*[22*] (Wie zou den hemel zonder toedoen van den hemel kunnen kennen en God vinden, als hij zelf geen deel aan de Goden had?). De sterren zijn levende wezens, die den mens in geestelijke krachten verre overtreffen en die krachtens de algemene sympathie inwerken op zijn lot; de aarde zelf leeft ook en de sterren voeden zich met haar uitwasemingen. In het zuiver physische illustreert het verschijnsel van eb en vloed, waarvan Poseidonios het nauwe verband met de maanbeweging had vastgesteld, den invloed van den hemel op de aarde op de meest overtuigende wijze.

Is het niet begrijpelijk, dat toen in een cultuurmilieu dat in een dergelijke denkspheer leefde, de in Babylonië reeds langer gehuldigde astrologische voorstellingen bekend werden, deze daarin een gretige ontvangst

* Het zijn de regels, die Goethe in 1783 in het Brockenboek schreef. Zij drukken een essentieel element van zijn natuurbeschouwing uit, getuige de versregels:

Wär' nicht das Auge sonnenhaft,
Die Sonne könnt' es nie erblicken;
Läg' nicht in uns des Gottes eigne Kraft,
Wie könnt' uns Göttliches entzücken?
(*Zahme Xenien III*)

moesten vinden? De leer van een rechtstreekse bestiering van het mensenleven door hemelse geesten gaf een vasten vorm aan de overtuiging van het bestaan van een kosmische sympathie; het Stoicijnse begrip der Εἱμαρμένη vond hier een concrete toepassing.

109. Dat de Babylonische astrologie in Hellas is doorgedrongen, is vooral het werk geweest van den Bel-priester Berossos, die zich in het begin van de derde eeuw v. Chr. op het eiland Kos was komen vestigen en die in zijn geschrift Βαβυλωνιακά een uiteenzetting gaf van de astrologische theorieën die in het Tweestromenland gangbaar waren[23].

Het kan geen erg samenhangend verhaal zijn geweest, dat hij aan de Hellenen deed, want de Babylonische astrologie was geen scherp omschreven leer. De astrologische voorspellingen bleven altijd in het vage: zij hadden betrekking op grote gebeurtenissen die de gemeenschap te wachten stonden en gingen niet in op het lot van den enkeling. Daarnaast werd een belangrijke plaats ingenomen door de astrolatrie, de aanbidding van de in de planeten belichaamde Goden. In den Chaldeeuwsen, d.w.z. laat-Babylonischen, tijd kwamen daar nog theorieën bij over den samenhang tussen de planeten en aardse dieren, planten, stenen en metalen. Het geheel was vermengd met denkbeelden over mantiek en magie.

110. In handen van de scherper denkende, op wetenschappelijke systematiek beluste Hellenen werd dit bonte geheel nu echter in betrekkelijk korten tijd verwerkt tot een echt μάθημα, gebaseerd op een klein aantal fundamentele proposities, die al spoedig het karakter van onbetwijfelbare axiomata aannamen. Zij hielden vooreerst in, dat de sterren met behulp van effluvia op het algemene gebeuren op aarde en op het leven van den mens in het bijzonder invloed uitoefenen en dat die invloed niet bepaald wordt door een enkel hemellichaam, maar steeds door het gehele complex der hemelse situaties. En zij voegen daaraan òf de theorie der κατάρχαι toe, volgens welke de gecombineerde invloed der sterren op ieder ogenblik een toestand teweegbrengt, die voor bepaalde handelingen min of meer gunstig is òf het daarvan principieel verschillende systeem der z.g. genethlialogie (later ook judiciaire astrologie genaamd), dat het levenslot van den mens gefixeerd acht door den stand van den sterrenhemel op het ogenblik van zijn geboorte of, volgens anderen, op dat van zijn conceptie.

Behalve in deze beide theorieën verkrijgt de astrologische denkwijze vasten voet in de geneeskunde en in de alchemie. In de eerste ontstaan voorstellingen over een correspondentie tussen de 12 tekens of de 36 decanen van den dierenriem en de delen van het menselijk lichaam; aan elk stuk van den dierenriem wordt een bepaalde stellaire kracht toegekend, waarmee het op het hem toegevoegde lichaamsdeel inwerkt. Storingen in het normale functioneren van het lichaam vloeien voort uit de posities der planeten ten aanzien van deze zodiacale fracties. In de tweede

vervult de samenhang van de planeten met bepaalde aardse stoffen een belangrijke functie.

111. Het is niet onze taak, op de techniek van dit alles in te gaan. Wel moet nog iets naders gezegd worden over de houding die de verschillende Griekse philosophenscholen tegenover deze denkbeelden hebben ingenomen. Het blijkt dan, dat men er in Athene niet algemeen welwillend over oordeelde. Karneades, het hoofd van de z.g. middelste Akademie en verwoed tegenstander van de Stoa (van hem is het woord: als Chrusippos er niet was, was er ook geen Karneades) bestrijdt ze fel. Zijn argumenten waren bestemd klassiek te worden en door de eeuwen heen in den treure te worden herhaald: zij beroepen zich op de onwezenlijke toevalligheid van de aan de tekens van den dierenriem en aan de planeten toegekende namen, waaraan toch in de astrologie wegens de karaktereigenschappen of qualiteiten van den benoemde zo zwaarwegende consequenties verbonden zijn, op het onverklaarbare, dat de astrologen nooit horoscopen van dieren opstellen en vooral op het vaak aanzienlijke verschil in levenslot dat tweelingen kunnen vertonen. Even beslist, maar op andere gronden dan de Akademici verzetten zich de Epicuraeërs: voor hen is op grond van hun levensbeschouwing alles onaanvaardbaar wat naar voorbeschikking, voorzienigheid of fatum zweemt.

Zo weinig als de astrologie dus bij twee belangrijke Atheense scholen in tel was, zo veel ingang vond ze in Egypte, zowel bij de inheemse bevolking als bij de daar wonende Grieken. Men gaf daar zelfs spoedig voor, den Babylonischen oorsprong van deze gehele vreemde gedachtenwereld vergeten te zijn en deed alsof zij een vrucht was van oud-Egyptische priesterwijsheid. Er ontstond een omvangrijk Grieks handboek, Αστρολογόυμενα, dat voorgaf in oude tijden geschreven te zijn door den koning Nechepso en den priester Petosiris en waarvan de inhoud werd toegeschreven aan den god Thoth, in het Grieks Hermes genaamd.

Terwijl de Stoicijn Panaitios skeptisch gezind bleef, verleende zijn leerling Poseidonios aan de astrologie het volle gewicht van zijn grote autoriteit. Dat bevorderde haar doordringen in de aanzienlijke kringen der Romeinen, waar ze groten aanhang verwierf. Onder keizer Augustus en vermoedelijk niet zonder zijn aansporing schreef de dichter Manilius het astrologisch leerdicht *Astronomica*, dat gevolgd werd door een compilatorisch werk van Vettius Valens en later door de omvangrijke *Mathesis* van Julius Firmicus Maternus.

112. De titel van het laatstgenoemde werk illustreert de verandering die intussen in de naamgeving was gekomen. Nog eeuwen lang - het getuigt van de vergetelheid, waarin de schoonste vruchten der Helleense cultuur al begonnen te verzinken - zal mathesis niet langer wiskunde beduiden, maar astrologie, en de herhaalde verbodsbepalingen die tegen mathematici werden uitgevaardigd, richtten zich niet tegen voortzetters van het werk van Euclides, Archimedes en Apollonios, maar tegen sterrenwichelaars.

Dat die verbodsbepalingen nodig waren - in de praktijk kwam natuurlijk de publieke activiteit der astrologen neer op oplichterij - is op zich zelf een symptoom van den sterken greep, waarin de illusie, uit de sterren de toekomst te kunnen afleiden, de geesten omklemd hield.

Nog duidelijker blijkt dit uit het welhaast ongelooflijk aandoende feit, dat de grote astronoom Ptolemaios, na in zijn zuiver wetenschappelijk werk *Almagest* de resultaten van den hoogsten bloei van de exacte wiskundige astronomie der Hellenen te hebben samengevat en daarmee een standaardwerk te hebben geschapen waarvan de autoriteit gedurende dertien eeuwen niet zou worden geschokt, in zijn *Tetrabiblos* (later vertaald als *Quadripartitum*) een even volledig handboek der astrologie samenstelde, dat door de eeuwen heen voor de adepten van dit vak dezelfde betekenis zou behouden als de *Almagest* voor de astronomen bezat. Hij ontwikkelt er in grote technische perfectie zowel de algemene astrologie in, die oorlogen, pestilenties, aardbevingen en overstromingen leert voorzien, als de genethlialogie, die individuele prognosen leert stellen over leven, familie, gezondheid en rijkdom. Er zit systeem in dit alles; raadselachtig blijft alleen, dat juist de schrijver van den *Almagest*, die de astronomie had leren opbouwen uit nauwkeurige waarnemingen en mathematische constructies, zulk een systeem van oppervlakkige analogieën en grondeloze beweringen ineen kon zetten.

113. Alvorens de behandeling van de astrologie te besluiten willen we nog een belangrijk meningsverschil vermelden, dat reeds in de oude astrometeorologie de geesten verdeeld had gehouden, de kwestie namelijk, of de hemellichamen de gebeurtenissen op aarde inderdaad door hun invloed zelf bewerken of dat ze slechts fungeren als tekens, die die gebeurtenissen aankondigen. Moet men hun een ποιεῖν toeschrijven of slechts een σημαίνειν? We zullen hier niet ingaan op de verschillende antwoorden die op deze vraag gegeven zijn. Het is echter van belang, vast te stellen, dat alle denkers die een daadwerkelijke beïnvloeding van menselijk karkater en menselijk levenslot door de hemellichamen onverenigbaar achtten met hun overtuiging van 's mensen vrijen wil en verantwoordelijkheid, maar die niettemin de zo algemeen aanvaarde en van zo gezaghebbende zijde ondersteunde theorie van den samenhang tussen aardse en hemelse gebeurtenissen niet konden of willen opgeven, in het aanvaarden van de σημαίνειν-functie een middel konden vinden om de harmonie tussen hun verschillende denkbeelden te handhaven. Zo erkent Plotinos het ποιεῖν voor zuiver physische processen, maar in de genethlialogie staat hij slechts het σημαίνειν toe.

Eindnoten:

1 Dijksterhuis (2) (4), Heath (2).
2 Dijksterhuis (5), Heath (1).
3 Kleomedes II 1; 156, 24-30.
4 Dijksterhuis (6), 159.
5 Plato (1) B 22.
6 Farrington (1) (2), Schuhl.
7 Heroon (1), I c. 15-16; 31, 38-39. (2) c. 22-30.
8 Plato (3) VIII 11; 846.
9 Plato (2) 512 BC.
10 Aristoteles, *Politica* IV 3.
11 Aristoteles, *Ethica Nicomachea* X 7.

12 Plutarchus (1) XIV 4. XVII 4.
13 Seneca Ep. 88. I, 411-424. Ep. 90. II, 16.
14 Haas (2).
15 Thales. Diels 1 A 22.
16 Dijksterhuis (1) 36-45.
17 Haas (1).
18 Van Deventer, Lippmann, Read.
19 Plato (1) 50 C-E.
20 Hooykaas (2).
21 Bouché-Leclercq, Wedel.
22 Manilius II 115-116.
23 Schnabel.

IV. Natuurwetenschap en Christendom

114. Wij hebben in onze schets van het wetenschappelijk denken der Grieken reeds lang het begin van de Christelijke jaartelling overschreden en zijn daarmee in de periode aangeland, waarin naast de ten einde spoedende en tot verval neigende werkzaamheid der heidense philosophen als een nieuwe geestesmacht het jonge Christendom begonnen was zich te verheffen. Het was een macht van wereldomvattende betekenis, die op volledige beheersing van den mens aanspraak maakte en die dus zijn intellectuele strevingen, die tot beoefening der natuurwetenschap leidden, even goed binnen den kring van haar bemoeienis trok als zijn religieuse behoeften en ethische gedragingen.

Daarmee had in de geschiedenis van het denken een nieuwe factor zijn intrede gedaan, die een voorheen ongekende binding met zich mee bracht. In de antieke heidense wereld had de wetenschap zich, althans in de Hellenistische periode, practisch onafhankelijk van het religieuse leven kunnen ontwikkelen. Het moge waar zijn, dat de Stoicijn Kleanthes als zijn mening heeft uitgesproken, dat de astronoom Aristarchos wegens goddeloosheid (ἀσέβεια) behoorde vervolgd te worden, omdat hij beweerde, dat de aarde en daarmee het centrale vuur, de Hestia, in beweging verkeerde[1], nergens blijkt, dat deze suggestie ook gevolgen heeft gehad en het feit, dat zulk een gedachte als iets bijzonders vermeld en overgeleverd werd, is een symptoom van haar ongebruikelijkheid. Het ontbreken van een vaste algemeen aanvaarde dogmatiek van den Grieksen godsdienst sloot overigens conflicten met de natuurwetenschap welhaast vanzelf uit. Deze had dan ook steeds kunnen volstaan met te gehoorzamen aan eigen intrinsieke wetten en geen andere autoriteit behoeven te erkennen dan die der autonome rede; de denkers waren zich bewust geweest van scheppende geestelijke vermogens, die ze onbekommerd als eigen bezit, wellicht zelfs als eigen verdienste, hadden beschouwd.

Daar kwamen nu heel andere opvattingen tegenover te staan: die van den hulpbehoevenden mens, die uit eigen kracht noch goed kan handelen, noch juist kan denken, maar die voor het eerste God's doorlopenden steun, voor het tweede Zijn geestesverlichting van node heeft; die van de autoriteit der Openbaring boven menselijk inzicht en dat wel op alle terreinen des levens, het wetenschappelijke niet uitgesloten.

Deze gans nieuwe beschouwingswijze bracht een probleem met zich mee, dat niet weer zou ophouden, de geesten te vervullen en te verontrusten en dat tot onafzienbare complicaties en eindelozen strijd aanleiding zou geven: het probleem van de onderlinge betrekking van geloof en wetenschap. Wij zullen die complicaties nog vaker ontmoeten, van dien strijd menigen klank opvangen. Thans gaat het er reeds om, kennis te nemen van het eerste samentreffen van de natuurwetenschap met het Christendom, zoals dit in de Patristiek heeft plaats gevonden.

115. Wanneer we, met veronachtzaming van individuele verschillen in opvatting, het standpunt dat de patristische auteurs ten aanzien van de natuurwetenschap hebben ingenomen, in een enkele formule trachten samen te vatten, dan kan deze als volgt luiden: er zijn thans ernstigere belangen aan de orde dan die der profane wetenschap; de Christen behoort voor alles bedacht te zijn op het heil van zijn ziel en daarvoor moet hij niet dieper in de geheimen der Natuur willen doordringen dan de Heilige Schrift vereist en toelaat.

Er zijn bewijsplaatsen te over, waaruit deze opvatting over natuurwetenschappelijk onderzoek spreekt: men kan denken aan de uitlating van Basileios, dat een leven van Christelijke deemoed en godsvrucht hogere belangen en diepere zorgen kent dan de vraag, of de aarde een bol, een cylinder of een schijf is of wellicht als een wan in het midden een holte bezit[2]; aan het befaamde woord van Tertullianus: *nobis curiositate non opus est, post Christum Jesum*; *nec inquisitione, post Evangelium* (voor ons is weetgierigheid niet meer van node na Jezus Christus, noch onderzoek na het Evangelie[3]); aan de waarschuwing die Augustinus in zijn *Confessiones* doet horen tegen de *concupiscentia oculorum*, waarvan gesproken wordt in I. Joh. 2:16 en die hij interpreteert als een zucht naar het weten om der wille van het weten[4].

Hoezeer dit standpunt ook afwijkt niet alleen van de opvattingen die in de heidense Oudheid algemeen gehuldigd waren, maar ook van de wijze waarop in latere tijden gelovige natuuronderzoekers de relatie van wetenschap en geloof zouden zien, toch is het niet moeilijk te begrijpen, dat het in de eerste phase van de ontwikkeling van het Christendom is ingenomen. De Kerkvaders leefden uit de overtuiging, dat, nu het ware heil van de mensheid in Jezus Christus was geopenbaard, er voorlopig geen andere belangen bestonden dan dit Evangelie overal ingang te doen vinden en dat in de H. Schrift, waarin de openbaring, voorzover dat mogelijk was, in menselijke taal was vastgelegd, naast het hoogste weten dat de mens behoefde, van het lagere zoveel was meegedeeld als voor zijn heil nodig en voldoende was.

116. Het zou nu echter onjuist zijn, uit deze opvattingen te willen concluderen tot een principieel vijandige houding van de Vaders ten aanzien van de studie der natuur. Iets ruin of meer overbodig en onder omstandigheden zelfs gevaarlijk vinden beduidt nog geen volstrekte verwerping. Augustinus betoogt die overbodigheid en dat mogelijke gevaar waarlijk vaak en ernstig genoeg, maar hij erkent aan den anderen kant zo volmondig, dat het wereldlijke, mits goed verstaan, den mens niet behoeft af te houden van God, die zich immers in de wereld openbaart, en hij legt er zo sterk den nadruk op, dat de natuur in haar door het getal beheerste orde de eeuwige wijsheid mede openbaart, dat hij onmogelijk principieel alle natuurwetenschap zou hebben kunnen veroordelen[5].

Echter behoort de wetenschap altijd onderworpen te blijven aan de

autoriteit van de H. Schrift, die alle vermogens van den menselijken geest te boven gaat. Augustinus spreekt als het ware uit naam van alle Vaders dit beginsel nadrukkelijk uit en legt daarmee aan het natuurwetenschappelijke onderzoek een binding op, waarmee het eeuwen lang rekening zou moeten houden[6].

Wanneer die binding echter eenmaal is aanvaard, komt de natuurwetenschap in het oog der Vaders in een gans ander licht te staan. In zijn invloedrijke *Hexaëmeron*, een bundel voordrachten over het zesdaagse scheppingswerk, beveelt Basileios zijn hoorders aan, de natuur als kunstwerk van den Schepper aandachtig te bestuderen. En wanneer zijn vriend Gregorius van Nazianze hem na zijn dood in een Elogium herdenkt, keurt hij het nadrukkelijk af, dat zovele Christenen de natuurwetenschap gering achten; uit de doelmatigheid, die zij in de natuur doet ontwaren, kan immers tot het bestaan van een Schepper worden besloten; men moet er zich alleen voor hoeden, de natuur in Zijn plaats te gaan vereren[7].

117. Komt zo dus bij de Kerkvaders ook reeds de opvatting van natuur-studie als Christenplicht tot uiting, die later voor zovele gelovige natuur-onderzoekers een bron van inspiratie zal worden, zo overheerst over het algemeen toch wel de houding van reserve en waarschuwing. Ten dele is dat natuurlijk wel uit polemische en apologetische motieven te verklaren: de Griekse natuurwetenschap was te nauw verbonden aan de philosopbie, dan dat men haar zou hebben kunnen afzonderen uit den algemenen aanval op het duivels Babylon der philosophen. Ook waren haar positieve prestaties niet van dien aard, dat haar daardoor een uitzonderingspositie gewaarborgd zou hebben kunnen zijn. Een nog sterker werkende invloed moest echter nog uitgaan van het feit, dat het denken van de belangrijkste Vaders, behalve door hun Christelijke overtuiging, in hoge mate bepaald was door wijsgerige opvattingen van Platonischen of neo-Platonischen oorsprong, twee richtingen waarin de natuurstudie ook al nooit een gunstige positie had ingenomen; daarvoor was bij Plato het stoffelijke te onwezenlijk, bij Plotinos te zeer belast met een uitgesproken negatieve waardering.

Dat in deze periode, in tegenstelling tot wat latere eeuwen te zien zouden geven, het Platonisme en als uitvloeisel daarvan het neo-Platonisme de overheersende antieke invloed in het Christelijk denken was, is niet moeilijk te begrijpen. Het neo-Platonisme was de philosophie van den eigen tijd, waarin verscheidene patristische auteurs waren opgegroeid. Origenes was een leerling van Ammonios Saccas, aan wien ook Plotinos zijn inwijding in de wijsbegeerte te danken had gehad en dien men in den regel zelfs als den eigenlijken stichter der neo-Platonische school beschouwt. En Augustinus was zelfs uit zijn oorspronkelijke Manichaeische overtuigingen door de studie van Plotinos tot het Christendom gevoerd. Ook moest Plato's leer voor Christenen wel de meest aantrekkelijke van alle heidense philosophieën lijken. Er bestond een treffende overeenstem-

ming tussen de beschrijving die in den *Timaios* van de voortbrenging van de wereld door den Demiurg gegeven wordt, en het scheppingsverhaal in Genesis, en de gedachte, dat die overeenstemming te verklaren zou zijn, doordat Plato (de Attische Mozes) in Egypte de Septuaginta zou hebben leren kennen en met den profeet Jeremia in contact zou zijn geweest, vond gerede instemming, al was hij dan ook, zoals Augustinus opmerkt[8] voor het eerste te vroeg en voor het tweede te laat geboren.

De transcendentie van het rijk der ideeën harmonieerde met de Christelijke Godsvoorstelling; de ideeën zelf lieten zich ongedwongen interpreteren als gedachten Gods, waarvan de dingen op aarde onvolkomen verwezenlijkingen zijn. Door dit alles werd een nauwe relatie tussen Christendom en Platonische wijsbegeerte gelegd, die stand zou houden zolang het Augustinisme de overheersende richting in het Christelijk denken bleef. Dat er een tijd zou komen, waarin niet Plato, maar Aristoteles den wijsgerigen ondergrond der Christelijke dogmatiek zou leveren, kon nog niemand vermoeden.

Zo werkte alles samen om de scherpe axiologische tegenstelling tussen het rijk van den geest en dat der materie, die altijd zo schadelijk voor den bloei der natuurwetenschap geweest is, in stand te houden; de gedachte, dat al het geschapene toch tot op zekere hoogte deel heeft aan God's volmaaktheid en daarom 's mensen bewondering en aandacht verdient, kon nog niet tot ontplooiing komen; dat verklaart voor een aanzienlijk deel mede, waardoor de natuurwetenschap zich in een zo veel geringere mate van waardering mocht verheugen dan men op grond van de Christelijke opvatting van het ontstaan van de wereld en haar blijvende relatie tot haar Schepper had mogen verwachten. Want deze schepping moge door den Val ontluisterd zijn, zodat ze niet meer de schoonheid bezit waarin ze geschapen is, toch blijft nog steeds het woord van Paulus van kracht (Rom. 1:20), waarin over het verstaan en doorzien van God's onzienlijke dingen uit de schepselen gesproken wordt.

118. Dat wij in het bovenstaande een typerende zienswijze van Christelijke denkers voor een groot deel konden afleiden uit invloeden die zij van heidense wijsgeren hadden ondergaan, vormt een eerste illustratie van het nog vaker op te merken verschijnsel, hoezeer het Christendom bij alle scherpte van tegenstelling waarmee het op religieus en ethisch gebied tegenover het Heidendom stond, toch altijd bereid is geweest, in wijsgerig opzicht van de daarin opgehoopte rijkdommen partij te trekken. Voor wie dat vreemd mocht vinden of een Christen onwaardig, heeft Augustinus eens en voor altijd de rechtvaardiging van zulke ontleningen gegeven[9]: de heidenen bezitten die rijkdommen wel, maar zij zijn er niet de rechtmatige eigenaren van; rechtens komen zij aan de Christenen toe, die er eerst het juiste gebruik van zullen weten te maken, en wanneer dezen zich die schatten toeëigenen, doen zij niet anders dan de Joden, die, wegtrekkend uit Egypte, met goedvinden van den Heer, zilveren en

gouden vaatwerk, versierselen en kostbare gewaden der Egyptenaren meenamen, om er een beter gebruik van te maken dan zij. En een mogelijk opkomende verwondering, dat er zoveel wijsheid geschonken is aan volkeren die van het licht der Openbaring verstoken waren gebleven, wordt weggenomen door te verwijzen naar Joh. 1:9, waar gezegd wordt, dat het Licht een iegelijk verlicht, die in de wereld komt.

119. Voor een juiste beoordeling van de houding der Kerkvaders tegenover de Griekse natuurwetenschap verdient het nog opmerking, dat deze in de derde en vierde eeuw na Chr. reeds lang niet meer op het hoge peil stond dat zij bij haar grootste beoefenaren eenmaal had bereikt. Het is zeer onwaarschijnlijk, dat er in de Oudheid ooit een algemeen cultuur-niveau heeft bestaan dat door het werk van auteurs als Archimedes, Apollonios, Hipparchos en Ptolemaios bepaald werd, maar het staat in ieder geval vast, dat daarvan in den tijd waarover we thans handelen, zeker geen sprake meer was. Veeleer zal men zich de intellectuele cultuur van die dagen moeten voorstellen als een wonderlijken baaierd, waarin overblijfselen van het bloeitijdperk der Helleense wetenschap op vreemde wijze vermengd waren met Oosters bijgeloof en phantasterij van velerlei oorsprong en waarin nu de Christelijke voorstellingen over de natuur een nieuw element van verwarring brachten.

Men krijgt enig denkbeeld van den achteruitgang op zuiver wetenschappelijk gebied door te letten op het standpunt dat verschillende auteurs in de Patristiek ten aanzien van fundamentele astronomische problemen hebben ingenomen. Terwijl Origenes, die een tijdgenoot van Ptolemaios was, nog heel goed op de hoogte blijkt te zijn met een toch tamelijk technisch onderwerp als de praecessie[10], verwerpt Lactantius zelfs den bolvorm van de aarde, die in den bloeitijd van de Griekse astronomie reeds tot de elementen van het vak behoord had; hij maakt de gedachte aan tegenvoeters bespottelijk door het voor te stellen, alsof dezen het hoofd beneden de voeten zouden dragen en den hemel lager zouden zien hangen dan de aarde[11] (waarbij niet vergeten mag worden, dat Plutarchus soortgelijke beschouwingen had gehouden)[12]. Er bestaat in het algemeen, maar in het bijzonder bij de Syrische geleerden, een streven om terug te keren naar de oud-Testamentische voorstelling van de aarde als een schijf, waarover de hemel als een tent is uitgespannen en wanneer in de zesde eeuw de geograaf Kosmas Indicopleustes zich in zijn gezaghebbende *Topographia Christiana* daarbij aansluit, wordt dit zelfs weer honderden jaren lang de heersende opinie.

Het werk van Kosmas[13] illustreert in het algemeen den gecompliceerden toestand die ontstaan was, doordat men zich verplicht achtte, de uitspraken van de H. Schrift in natuurwetenschappelijke aangelegenheden als evenzovele letterlijk als waarheid te aanvaarden goddelijke openbaringen over de natuur op te vatten. Kosmas voltooit de in beginsel reeds bij Clemens van Alexandria en Theophilos van Antiochië begonnen

theorie van de aarde op bijbelsen grondslag, waarbij hij zijn argumenten aan het scheppingsverhaal in Genesis, aan Job, Jesaja en de Psalmen ontleent. De aarde, aan vier kanten door den Oceaan omgeven, stijgt als een muur naar het Noorden op; de zon wordt dagelijks door engelen om die hoogte rondgevoerd naar het punt van haar opgang. De bolvorm van de aarde moet reeds hierom uitgesloten worden geacht, omdat de mensen aan den anderen kant op den dag van het Jongste Gericht den Heer niet door de wolken omlaag zouden kunnen zien komen.

120. Nu is het natuurlijk waar, dat men Lactantius en Kosmas niet als representatief voor de wetenschappelijke ontwikkeling van de Kerkvaders mag beschouwen. Een denker als Augustinus begaat niet zo elementaire fouten als men bij hen kan aantreffen. Echter komen ook bij hem de moeilijkheden die aan het natuuronderzoek in den weg werden gelegd door de noodzaak, met de uitspraken der H. Schrift rekening te houden, in niet geringe mate tot uiting. Een voorbeeld wordt gevormd door zijn standpunt inzake het antipodenvraagstuk. Hoewel hij den bolvorm van de aarde aanneemt, verwerpt hij het bestaan van mensen die de van ons afgekeerde aardhelft zouden bewonen, dit echter niet op grond van de primitieve argumentatie van Lactantius, maar omdat hij het onverenigbaar acht met de eenheid van het menselijk geslacht[14]. Om dit argument te begrijpen, moet men uitgaan van de in dien tijd gangbare overtuiging, dat de gematigde luchtstreek van het Zuidelijk halfrond van het Noorden uit onbereikbaar was wegens de onmatige hitte van de tussengelegen tropische zone. Eventuele bewoners van die luchtstreek zouden autochthoon moeten zijn en dat is onaanvaardbaar wegens de in de H. Schrift onderstelde afstamming van alle mensen van Adam en Eva. Een ander argument volgde uit Rom. 10:18, waar van de predikers van het Evangelie gezegd wordt: hun geluid is over de gehele aarde uitgegaan en hunne woorden tot de einden der wereld. Daar het namelijk vaststond, dat zij niet bij de antipoden geweest waren, konden dezen ook niet bestaan.

121. Het voorbeeld is nog om een andere reden leerzaam; het toont aan, hoe onvermijdelijk het voor de Kerkvaders was, zich bezig te houden met natuurwetenschappelijke kwesties en hoe moeilijk zij het standpunt konden blijven volhouden, dat het eigenlijk op de beantwoording daarvan niet zo heel veel aankwam. Want ook al zou de onblusbare menselijke dorst tot weten er niet geweest zijn, dan zou alleen al de interpretatie van de H. Schrift, die zij als een van hun voornaamste werkzaamheden beschouwden en waaraan zij allen de grootste zorg hebben besteed, hen telkens gedwongen hebben, zich er mee bezig te houden. Alleen al het eerste hoofdstuk van Genesis gaf overvloedig aanleiding tot natuurwetenschappelijke vragen: de vermelding van de door God geschapen ‘hemel en aarde’ in Gen. 1:1, voordat er van een afscheiding van hemel en aarde sprake is geweest, de scheiding van de wateren boven van die beneden het uitspansel in vs. 6, de schepping van het licht in

vs. 3 op den eersten dag, terwijl eerst op den vierden de hemellichten te voorschijn komen, waren evenzovele problemen, die de bijbelinterpreet had op te lossen. Hoe die oplossing luidde, is in vele gevallen historisch belangwekkend, omdat men er zo vaak zowel den nagalm van oudere Griekse denkbeelden als den oorsprong van bekende middeleeuwse voorstellingen in kan opmerken. Het zou ons echter te ver voeren, er hier nader op in te gaan; we willen slechts opmerken, dat overal de invloed van den *Timaios* onmiskenbaar is; de Vaders schijnen voor hun kosmologie ruimschoots te hebben geput uit Stoicijnse commentaren op dezen dialoog, waarin tevens Aristotelische theorieën over de elementen waren verwerkt. Voor ons doel is de hoofdzaak echter, dat we kunnen vaststellen, hoezeer de nieuwe kenbron voor natuurwetenschappelijk onderzoek die men in de H. Schrift meende te bezitten (een met het oog op de betekenis van dit Boek alleszins consequente zienswijze) de problemen moest verscherpen en verwarren; stelt men zich hiernaast duidelijk voor ogen, dat de natuurwetenschap zelf reeds sedert lang in een tijd van verval verkeerde, dan is het niet moeilijk te begrijpen, dat de Patristiek niet de tijd is geweest, waarin men haar opleving zou hebben kunnen verwachten.

122. De polemische houding die de Vaders vaak tegenover de heidense natuurwetenschap hebben ingenomen (wanneer Augustinus de wenselijkheid van haar beoefening erkent, doet hij dat zelfs met polemische bedoelingen, nl. om den Christen opgewassen te doen zijn tegen heidense opponenten en hem te vrijwaren tegen de bekoring die hun theorieën wellicht op hem zouden kunnen uitoefenen, wanneer ze nieuw voor hem waren[15] uit zich in een bijzonder scherpen vorm, wanneer het er om gaat, de astrologie te bestrijden. Zo aanvaardbaar als de genethlialogie was geweest voor het fatalisme der Stoicijnen, zo onaannemelijk was ze voor wie de Christelijke overtuiging van de vrijheid van 's mensen wil in de keuze tussen goed en kwaad bezaten. Augustinus - om weer slechts hem te noemen - somt dan ook alle reeds traditioneel geworden argumenten, die we reeds van Karneades hoorden, op, waarbij hij vooral aan het tweelingargument grote waarde blijkt te hechten; daardoor wordt namelijk ook de gematigde opvatting, dat de sterren als tekens en niet als oorzaken fungeren, naar zijn mening onaanvaardbaar gemaakt[16].

123. Hoe onverzoenlijk en onverzettelijk zijn afwijzende houding ook schijnt te zijn, toch zitten er bij nadere beschouwing zekere zwakke plekken in, die in het verdere verloop van de relaties tussen Christendom en astrologie niet onbelangrijk zullen blijken. Vooreerst strekt zich zijn veroordeling niet uit tot het leerstuk van den invloed der sterren op zuiver physische processen: evenmin als enig ander denker in de Oudheid heeft hij zich kunnen onttrekken aan den indruk dien de kennelijke afhankelijkheid tussen aardse natuurverschijnselen en de posities en bewegingen van zekere hemellichamen (wisseling der seizoenen in verband met de zon, getijden onder invloed van de maan) maakte en aan het oude

volksgeloof van den samenhang tussen aardse groeiprocessen en de phasenwisseling van de maan; daarmee was echter in beginsel ten minste al de deur geopend voor de erkenning van de waarde van de astrologie in de geneeskunde. Vervolgens echter geeft hij, evenals Origenes[17] en Lactantius[18] al gedaan hadden, duidelijk te kennen, dat hij het streven der astrologen, om de toekomstige lotgevallen van den mens uit de sterren af te lezen, niet zozeer als een ijdele dan wel als een zondige pretentie beschouwt. Het strijdt helemaal niet met zijn denkwijze, een *praescientia futurorum*, een vooruit weten van wat de toekomst zal brengen, als onmogelijk af te wijzen; dat Cicero dat wel doet, keurt hij ten stelligste af en hij noemt het den meest aperten waanzin, in een God te geloven en te willen ontkennen, dat Hij althans de toekomst kent[19].

Maar de mens moet zich niet vermeten, in het goddelijk geheim te willen doordringen en dat is het juist, wat de astroloog tracht te doen. Wat is nu echter het zondige daarin? Het antwoord is even verrassend als tekenend: hij kan daarin alleen slagen met hulp van daemonen, dus van de vijanden Gods. Daarmee is nu echter wel de geoorloofdheid, maar geenszins de mogelijkheid van astrologie weerlegd. Wanneer immers de daemonen in staat zijn, uit de sterren de toekomst af te lezen en den astroloog die hun hulp heeft ingeroepen, in die kennis te laten delen, dan volgt daaruit, dat de toekomst op een of andere wijze ook in de sterren geschreven moet staan; zelfs daemonen kunnen namelijk niet ergens iets lezen wat er niet staat. Het is duidelijk, dat de kwestie niet als afgedaan kon worden beschouwd en inderdaad zou het standpunt waarop de Christen tegenover de astrologie behoort te staan, nog herhaaldelijk aan de orde komen en voor wijziging vatbaar blijken.

124. Evenmin als de mogelijkheid om met behulp van daemonen een efficiënte astrologie te beoefenen, ontkennen de Vaders de realiteit van een met diezelfde hulp bedreven magie. Maar om dezelfde reden moet de Christen zich daar afzijdig van houden. Met de komst van Christus is de strijd tegen den Satan en zijn heerscharen begonnen; den heiden stond het nog vrij, zich van hun hulp te bedienen, den Christen niet meer. In de persoon van de drie magiërs uit het Oosten - aldus de voorstelling van Tertullianus[20] - is de magie aan de kribbe van den Verlosser afstand komen doen van haar rijk, welke abdicatie wordt uitgedrukt door het feit, dat de magiërs langs een anderen weg dan zij gekomen waren, naar hun land terugkeerden (Matth. 2:12).

Eindnoten:

1 Plutarchus (2) c. 6.
2 Basilius, *Homilia in Hexaemeron* IX. PG XXIX 187-88. (2) 140.
3 Tertullianus, *Liber de Praescriptione Haereticorum* c. 7. PL II 20-21.
4 Augustinus (1), *Confessiones* X, c. 35. Verwante beschouwingen in *Enchiridion de Fide* c. 9 en 16. PL XL 235, 238-9. *De Genesi ad Litteram* II, c. 9. PL XXXIV 270.
5 Augustinus (3), *De libero arbitrio* II, XI-XVI. Gilson. Haitjema.
6 Zie b.v. *De Genesi ad Litteram* II, c. 5. PL XXXIV 267. Maior est quippe Scripturae hujus auctoritas, quam omnis humani ingenii capacitas.
7 Brunet-Mieli 984. verg. Basilius (2) 5-6.
8 Augustinus (1), *De Civitate Dei* VIII, c. 11. PL XLI 235. Augustinus laat de mogelijkheid open, dat Plato door bemiddeling van een tolk kennis van de boeken van Mozes zou hebben kunnen krijgen.
9 Augustinus (1), *Confessiones* VII, c. 9. *De doctrina christiana* II, c. 40. PL XXXIV 63. Ab ethnicis si quid bene dictum, in nostrum usum est convertendum.

10 Origenes, *Commentaria in Genesim*. PG XII 80.
11 Lactantius, *Divinae Institutiones* III. *De falsa sapientia philosophorum* c. 24. PL VI 425-26.
12 Plutarchus (2), c. 7.
13 Kosmas Indicopleustes, *Topographia Christiana*. PG LXXXVIII.
14 Augustinus (1), *De Civitate Dei* XVI, c. 9. PL XLI 487. *De Genesi ad Litteram* II 9, c. 9. PL XXXIV 270.
15 Augustinus (1), *De Genesi ad Litteram* I, c. 19, II, c. 1. PL XXXIV 261, 264.
16 Augustinus (1), *De Civitate Dei* V, c. 2-7. PL XLI 142-148.
17 Origenes, *Commentaria in Matthaeum* XIII, c. 6. PG XIII, 1107-08.
18 Lactantius, *Divinae Institutiones*. II. *De Origine erroris*, c. 17. PL VI 336.
19 Augustinus (1), *De Civitate Dei* V, c. 9. PL XLI 149.
20 Tertullianus, *De Idolatria*, c. 9. PL I 672.

Deel II
De natuurwetenschap in de Middeleeuwen

I. Tijden van overgang

A. Handhavers der antieke traditie

1. Het heeft niet zo heel veel gescheeld, of de ondergang der antieke cultuur zou ook het einde van de beoefening van wijsbegeerte en wetenschap op den door de Grieken gelegden grondslag betekend hebben. In Zuid- en West-Europa is de continuïteit in de ontwikkeling, die voor den groei van het wetenschappelijk denken zulk een onmisbaren factor vormt, althans ernstig bedreigd geweest. Onder het Romeinse Imperium was wel veel van het geestelijk erfgoed der Griekse Oudheid bewaard gebleven, zodat ook de Westerse landen, die later deze nalatenschap zouden beheren en haar tot verdere ontwikkeling zouden brengen, reeds enigermate met de daarin verborgen schatten op de hoogte waren gekomen, maar in de donkere eeuwen die op de ineenstorting van het West-Romeinse Rijk volgden, daalde de belangstelling in de werken des geestes tot een zo laag peil, dat er inderdaad gevaar heeft gedreigd, dat de band met het verleden geheel zou worden verbroken.

Waar de uitwendige omstandigheden zo weinig gunstig waren, verkrijgt het werk van hen die in deze tijden de vlam der antieke cultuur, hoe zwak dan ook, brandende hebben gehouden, een historische betekenis, die ver uitgaat boven de feitelijke waarde van hun eigen wetenschappelijke prestaties.

Voor alles moet hier aan Boethius worden gedacht, den laatsten Romein en eersten Scholasticus, die weliswaar zijn ambitieuse onderneming, een volledige Latijnse vertaling van de werken van Plato en Aristoteles te leveren, niet heeft kunnen voltooien, maar die om wat hij wèl tot stand heeft gebracht, den eretitel van Leermeester der vroege Middeleeuwen ten volle verdient. Door zijn toedoen werden in de kloosters - die nog ettelijke eeuwen lang de voornaamste cultuurcentra zouden vormen - delen van het *Organon* van Aristoteles (met name de *Categoriae* en *De Interpretatione*) benevens de inleiding van Porphyrios op het eerste geschrift van de collectie in vertaling bestudeerd, terwijl hij door zijn werken over arithmetica, geometrie en muziek bewerkt heeft, dat de kennis der Griekse wiskunde nooit geheel te loor is gegaan; in het bijzonder heeft hij door zijn *Arithmetica* ook de Pythagoraeïsche en neo-Pythagoraeïsche gedachtenwereld in het Westen doen doordringen.

Naast Boethius moet Cassiodorus genoemd worden, die in het door hem gestichte klooster Vivarium den grondslag legde voor een saeculaire traditie van wetenschapsbeoefening door kloosterlingen en die tevens door zijn werken *De Institutione divinarum* en *De artibus ac disciplinis liberalium litterarum* een onderwijsmethode invoerde, waarvan de beginselen de gehele Middeleeuwen door behouden zouden blijven.

Zijn grondgedachte is deze, dat de studie der H. Schrift, die het hoofd-

doel is en dat ook blijven moet, als voorbereiding de beoefening der profane wetenschap vereist; aan de laatste is het tweede der genoemde werken gewijd, dat in de indeling van de *liberales literae* in *artes* (grammatica, rhetorica, dialectica) en *disciplinae* (arithmetica, geometria, musica, astronomia) de latere traditionele splitsing van wat dan de zeven vrije kunsten (*artes liberales*) zullen heten in Trivium en Quadrivium voorbereidt.

2. Terwijl de werken van Boethius en Cassidorus voornamelijk zorg droegen voor het in stand houden van de grondslagen der wetenschapsbeoefening, bleef in de encyclopaedische geschriften van den Spaansen bisschop Isidorus van Sevilla en den Engelsen monnik Beda Venerabilis iets van de resultaten der antieke natuurwetenschap bekend. De eerste heeft op de intellectuele cultuur der Middeleeuwen invloed uitgeoefend door zijn werken *De Natura Rerum* en *Origines*, waarin enerzijds compilatorische werken van Romeinse auteurs (met name de *Naturales Quaestiones* van Seneca), anderzijds geschriften van Kerkvaders, zoals het *Hexaëmeron* van Ambrosius, verwerkt zijn. Beda, die niet alleen op hem kon voortbouwen, maar die bovendien gebruik kon maken van de *Naturaliș Historia* van Plinius, evenaart en overtreft hem in zijn eveneens *De Natura Rerum* getiteld werk, dat voor de komende eeuwen een onschatbare bron van kennis der natuur zou vormen.

Men moet geschriften als die van Isidorus en Beda natuurlijk in de allereerste plaats naar hun historische betekenis en eerst secondair naar de blijvende wetenschappelijke waarde van hun inhoud beoordelen. Niets is gemakkelijker, niets goedkoper dan een bloemlezing samen te stellen van naïeve denkbeelden, foutieve beweringen en onhoudbare beschouwingswijzen die er in voorkomen en zodoende de eerbiedwaardige auteurs over te leveren aan de hilariteit van een door gemis aan historische scholing laatdunkend geworden nageslacht. Hen als pioniers te betitelen zou even onjuist zijn. Maar zij verdienen waardering, omdat ze in een tijd van diepe geestelijke inzinking de antieke wetenschap hebben helpen bewaren.

Dat ook bij deze auteurs de natuurwetenschap ondergeschikt blijft aan de theologie, dat ook voor hen de uitspraken der H. Schrift in de natuurwetenschappelijke strekking die zij er aan toekennen, even onaantastbare waarheid vertegenwoordigen als ze het in theologischen zin doen, dat dus ook zij er voortdurend op uit zijn, de passages in den Bijbel waarin iets over de natuur gezegd wordt, als natuurwetenschappelijke uitspraken te behandelen en met de resultaten der vakwetenschap in overeenstemming te brengen, belet niet, dat er toch een verschil in nuance is tussen hun visie op de natuurstudie en die der Kerkvaders. De ingeschapen weetgierigheid van den mens heeft zich niet blijvend laten terugdringen door de vermaning, dat haar bevrediging zijn eeuwig heil niet dient. Reeds ontwaart men weer de tekenen van een belangstelling in de natuur die verder door wil dringen dan voor de interpretatie van de H. Schrift vereist wordt.

Terwijl men de physische en astronomische denkbeelden der Kerkvaders moet leren kennen uit werken, die reeds door hun titel *Hexaëmeron* (de zes scheppingsdagen) de nauwe relatie tussen de natuurwetenschap en den Bijbel tot uitdrukking brengen, wekt de thans weer gebruikte titel *De Natura Rerum* herinneringen aan antieke natuurwetenschappelijke geschriften op en spreekt van een behoefte, de natuur te bestuderen uit een dorst tot weten ter wille van het weten zelf.

3. De werkzaamheid van Beda vormt een onderdeel van een in de Engelse en Ierse kloosters reeds vroeg gevestigde traditie om naast de beoefening der theologie die der profane wetenschap niet te veronachtzamen. In de zesde eeuw had in de Ierse kloosters Clonard, Bangor en Iona reeds een trivium en een rudimentair quadrivium bestaan; in de zevende bevorderden twee door Paus Vitalianus gezonden monniken, Theodorus van Tarsus en Adrianus Africanus, in Engeland de studie der oude talen; onder leiding van Benedict Biscop werd St Peter van Canterbury een belangrijk studie-centrum, terwijl daarnaast in de door hem gestichte kloosters Wearmouth en Jarrow(in beide heeft Beda gewoond) en op de bisschoppelijke school van York de profane wetenschap beoefend werd. Hier was reeds een compleet quadrivium aanwezig; men onderwees er arithmetica, geometrie, natuurlijke historie en astronomie met als onmisbaar sluitstuk den computus, de kalenderrekening, die in staat stelde, den datum van het Paasfeest en daarmee alle van Pasen afhankelijke data van het kerkelijk jaar te bepalen.

Zo goed als de kerstening werd van hier uit de intellectuele opvoeding van Europa ter hand genomen. Alcuin, leerling en later docent van de school te York, door Karel den Grote in 780 naar Frankrijk geroepen, organiseerde er het door Pepijn den Korte ingezette en door Karel krachtig bevorderde streven naar een culturele wedergeboorte, dat men als Karolingische Renaissance pleegt aan te duiden. In 782 werd hij hoofd van de Schola Palatina, een aan het Hof verbonden instelling, die half school, half academie was en toen hij zich in 796 in de abdij van den H. Martinus te Tours terugtrok, was in Frankrijk de eerste grondslag voor de latere intensieve wetenschapsbeoefening gelegd.

4. In Duitsland werd een soortgelijk werk verricht door zijn leerling Hrabanus Maurus, abt van het klooster te Fulda en later aartsbisschop van Mainz, die om zijn omvangrijke productie op encyclopaedisch en didactisch gebied den titel van *Primus Germaniae praeceptor* verworven heeft. Evenals Alcuin betoogde hij de noodzakelijkheid, dat geestelijken de zeven vrije kunsten zouden bestuderen en daartoe kennis zouden nemen van de denkbeelden van de heidense philosophen, in het bijzonder van die van Plato. Met het oog hierop bracht hij in zijn werk *De Universo* een omvangrijk kennismateriaal op het gebied van natuurwetenschap en medicijnen bijeen, dat, grotendeels geput uit de encyclopaedieën van Isidorus en Beda, evenals deze een compilatie biedt van wat er uit de

eindphase van de antieke cultuur behouden was gebleven. Verder dan deze zuiver receptieve verwerking van de overgeleverde stof zou men voorlopig niet gaan; nog was de denkkracht van de Westerse wereld niet ver genoeg tot ontwikkeling gekomen, om reeds tot zelfstandig wetenschappelijk werk in staat te zijn en ook vloeiden de bronnen der Oudheid nog niet rijk genoeg om de antieke wetenschap reeds in haar vollen omvang bekend te maken.

5. De opzet van dit werk, die voor geen enkele periode uit den groei der natuurwetenschap volledigheid van behandeling gedoogt, laat niet toe, dieper op den inhoud van de boven vermelde werken in te gaan en dus nauwkeurig aan te geven, welke bestanddelen van het antieke weten hierdoor voor het Westen bekend werden gemaakt. Terwijl we ons echter beperken tot de algemene karakteristiek, dat deze voornamelijk gevormd werden door rudimentaire overblijfselen van de Griekse kosmologie en meteorologie, moeten we een uitzondering maken voor een onderwerp, dat weliswaar in dezen tijd nog slechts weinig belang schijnt te hebben, maar dat in latere tijden des te meer invloed zal uitoefenen. Het betreft de antieke atomistiek, de leer van Demokritos, zoals ze door Epikouros was behandeld en door Lucretius algemeen bekend was gemaakt. Zowel Isidorus als Hrabanus Maurus blijken er mee op de hoogte te zijn en haar met voorkeur op de verklaring van natuurverschijnselen toe te passen.

Er ligt natuurlijk iets verwonderlijks in, dat vroeg-middeleeuwse geleerden juist aan deze antieke denkers, wier theorieën van oudsher met het stigma van atheïsme en materialisme getekend waren geweest en waarover dan ook door verscheidene Kerkvaders met onverholen afschuw gesproken wordt, zoveel aandacht hebben besteed. Er zijn echter drie oorzaken, die dit begrijpelijk kunnen maken.

Vooreerst deze, dat Lucretius, èn om de scherpte waarmee hij den dienst van de oude heidense goden en het optreden van hun priesters bestreed èn om zijn verdediging van de niet-eeuwigheid der wereld, door de vroege Christelijke apologeten als een welkome bondgenoot in hun strijd tegen het nog voortlevende heidendom was beschouwd. Hij was herhaaldelijk, soms met, soms zonder naamvermelding geciteerd door Arnobius en Lactantius; van de heftige bestrijding, waaraan hij later bij Augustinus, Hieronymus en Hilarius zou blootstaan, was aanvankelijk geen sprake[1].

Toen die bestrijding wèl kwam - men vond dezen bondgenoot in de bestrijding van Stoicisme en neo-Platonisme op den duur toch wel wat compromittant - gold ze echter - en hier komen we reeds tot een tweede oorzaak die het voortleven van atomistische voorstellingen in de hand werkte - veel meer de moraal der Epicuraeërs dan hun physica. Het is nu eenmaal een kenmerkende eigenschap van het antieke atomisme, dat het voor wie niet te veel vroeg, maar zich tevreden stelde met een verschuiving van de moeilijkheden uit de makro- naar de mikrowereld, zeer

aannemelijk klinkende verklaringen voor tal van bekende physische verschijnselen aan de hand deed. Daarvan heeft o.m. Hieronymus in zijn bijbelexegese geprofiteerd. En daar men veelal gewoon was, citaten zonder bronvermelding te geven, konden verscheidene physische en kosmologische denkbeelden van de meest anti-godsdienstige secte die de Oudheid gekend heeft, ongehinderd in de werken van de meest Christelijke auteurs voortleven. Een derde oorzaak moet ten slotte worden gezocht in het merkwaardige geluk dat aan de denkbeelden over de natuur van Demokritos en Epikouros is ten deel gevallen, doordat zij een groot dichter als Lucretius tot een onsterfelijk dichtwerk hebben weten te inspireren. Het is hier niet de plaats om in te gaan op de psychologische verklaring van een schijnbaar zo vreemde stofkeuze[2]. Het zal echter duidelijk zijn, dat overal waar de beoefening der Latijnse letterkunde tot kennismaking met het gedicht van Lucretius leidde, ook iets van de welhaast religieuse verering bekend moest worden, waarmee hij over Epikouros, dit *Graiae gentis decus*[3] (sieraad van den Grieksen stam) als over zijn leermeester spreekt en iets van de strikt materialistische theorieën die hij aan hem ontleent, moest doordringen.

6. Na Lactantius heeft Isidorus wel het meest er toe bijgedragen, dat de Middeleeuwen met de denkbeelden van Epikouros bekend zijn geworden. Hij spreekt weliswaar zeer misprijzend over hem als persoon, noemt hem *amator vanitatis non sapientiae* (beminnaar van de ijdelheid, niet van de wijsheid) en spaart hem ook het reeds in de Oudheid traditionele scheldwoord *porcus* (zwijn) niet, maar hij vindt hem toch belangrijk genoeg om hem in zijn *Chronicon*, een beknopt overzicht van historisch merkwaardige personen, niet over het hoofd te zien en op verscheidene plaatsen maakt hij een dankbaar gebruik van de vele gemakkelijke verklaringsmogelijkheden die het atomisme bood[4].

Hetzelfde geldt, in tegenstelling tot Beda, die de atomistische beschouwingswijze slechts zelden toepast en tot Alcuin, die zelfs tegen het aanhalen van Lucretius waarschuwt, voor Hrabanus Maurus. Voor de allegorische schriftverklaring, waarvan hij veel werk maakt, put hij rijkelijk uit het beroemde Latijnse leerdicht; in zijn *De Universo*[5] spreekt hij uitvoerig over het atoombegrip en hij volgt Lucretius geheel na in de behandeling van de geschiedenis van de relatie van den mens tot de natuur, van de ontdekking van de metalen en hun toepassing, van de theorie der gewaarwording en van de leer der temperamenten. Ook in zijn beschouwingen over de natuur der engelen en over de opstanding des vleeses zijn Epicuraeische invloeden merkbaar. Het zal dan echter niet lang meer duren, of er zullen van de zijde der orthodoxie bezwaren tegen deze onbekommerde aanvaarding der atomistiek als natuurwetenschappelijke theorie rijzen.

B. Gerbert van Aurillac

7. Van de voornamelijk slechts ontvangend en behoudend werkende auteurs, die we boven bespraken, onderscheidt zich in de tiende eeuw de merkwaardige figuur van Gerbert van Aurillac, den lateren Paus Sylvester II, door een grotere mate van zelfstandige wetenschappelijke activiteit. Het typeert hem reeds, dat hij als een voorloper van zo menigen 12-eeuwsen geleerde van een verblijf in Spanje heeft weten te profiteren om zich daar uit Oosterse bronnen kennis te verwerven. Voorts beoefende hij naast de studie der klassieke letteren, waartoe hij door de Benedictijnen van Aurillac was opgeleid, zelfstandig wiskunde en astronomie, terwijl hij èn door zijn eigen werkzaamheid aan de school te Reims èn door den invloed dien hij daar ter plaatse als aartsbisschop bleef uitoefenen, krachtig bijdroeg tot verhoging van het intellectuele peil van de geestelijkheid.

Wij zullen zijn bijdragen tot de ontwikkeling der wiskunde hier niet bespreken; zij zouden onbelangrijk lijken voor wie ze niet kan zien tegen den donkeren achtergrond dien het beoefeningspeil der mathesis in de tiende eeuw vormt. In hoofdzaak is Gerbert natuurlijk ook nog in die duisternis bevangen: zijn wiskunde is nog niet veel meer dan die der Romeinse agrimensores en vormt dus slechts een flauwen naglans van het licht dat in de tijden van Archimedes en Apollonios geschenen had; op rekenkundig gebied past hij de gebrekkige rekentechniek der Romeinen met haar onbeholpen cijferschrift en haar onpractische breuknotatie toe; van de meetkunde geeft hij niet meer dan een opsomming van een aantal stellingen zonder een spoor van logischen opbouw of bewijs. Maar hij slaagde er in, het gangbare rekeninstrument, den abacus, met behulp van zijn in Spanje verworven kennis te hervormen en hoewel die hervorming nog niet tot de ingrijpende verbetering van de rekentechniek leidde waaraan zulk een (ongevoelde) behoefte bestond, is ze voor de geschiedenis der wiskunde van belang, omdat hier het eerste symptoom valt waar te nemen van het doordringen van de Indische cijfers in het Avondland.

In zijn astronomie-onderwijs beijverde hij zich, de stof aanschouwelijk te maken door geschikte modellen en instrumenten, terwijl hij in het algemeen het belang van de studie der natuur als tegenwicht tegen de in het onderwijs dreigende gevaren van een al te sterken bloei van de dialectiek, de redeneerkunst, in het licht stelde.

Gelijk zo menigen middeleeuwsen geleerde met sterke natuurwetenschappelijke belangstelling is ook aan Gerbert de reputatie, een adept van de zwarte kunst der magie te zijn geweest, niet bespaard gebleven. Binnen een eeuw na zijn dood had zich over hem reeds een legende gevormd, waarin alles wat hij tot stand gebracht en verworven had, de bekleding van den H. Stoel inbegrepen, aan de hulp van den Satan werd toegeschreven. Nog lang zal in het middeleeuwse denken een nauw ver-

band tussen wiskunde en natuurwetenschap enerzijds en magie anderzijds gelegd worden en wel des te meer, naarmate de natuurwetenschap meer met behulp van instrumenten beoefend wordt. Dat is niet zo vreemd als het ons tegenwoordig bij het eerste vernemen in de oren klinkt. Men moet niet vergeten, dat ook voor den hoogst ontwikkelden middeleeuwer magie een realiteit was; hij geloofde aan de menigvuldige vormen waarin ze beoefend kon worden, zoals hij ook geloofde aan de doeltreffendheid van de mantiek in haar verschillende gedaanten; hij behoorde beide echter als zondig te schuwen, omdat zij slechts met behulp van daemonen beoefend konden worden en het den Christen verboden was, deze hulp in te roepen. Dat empirisch natuuronderzoek echter een verleiding inhield om zich toch aan magische practijken te buiten gaan, bewees de alchemie zonneklaar en dat iemand die experimenteerde of astronomische waarnemingen deed, al spoedig de verdenking op zich laadde, dat hij het verboden verkeer met de daemonenwereld pleegde, is dan ook geenszins onbegrijpelijk. Zo heeft dan ook in onze dagen een gezaghebbend Amerikaans historicus der middeleeuwse natuurwetenschap de begrippen magie en experiment in den titel van een omvangrijk werk in één adem kunnen noemen[6].

8. In den loop van de elfde eeuw draagt het door Gerbert uitgestrooide zaad duidelijke vruchten in den vorm van een verhoogde belangstelling in de wiskunde. Het is echter met het oog op een billijke beoordeling van de ontwikkeling der wetenschap in de komende eeuwen gewenst, goed te beseffen, op hoe laag intellectueel peil de cultuur van die dagen bij haar voornaamste dragers nog stond en hoeveel in West-Europa nog zou moeten gebeuren, voordat men een niveau had bereikt dat den toets der vergelijking met wat eenmaal in Hellas bestaan had, kon doorstaan. We worden daarover o.m. ingelicht door een bewaard gebleven correspondentie van twee leiders van scholen in het begin van de elfde eeuw, Ragimbold te Keulen en Radolf te Luik, die met elkaar en met een als B. aangeduiden monnik brieven over wiskundige onderwerpen hebben gewisseld die blijkbaar bestemd waren voor bekendmaking in wijderen kring[7].

Het blijkt dan, dat tegenover een althans matige beheersing der rekenkunde (men kent de *Arithmetica* van Boethius en is vaardig in het rekenen met den abacus) een diepgaande onwetendheid op het gebied van de meetkunde staat. De naam Euclides is onbekend, van de stelling van Pythagoras is geen spoor te bemerken. De eenvoudigste proposities van Euclides, die Boethius in zijn commentaar op de *Categoriae* van Aristoteles citeert, blijken moeilijkheden op te leveren. Het *Geometricum* van Boethius, een hem van de negende eeuw af toegeschreven werk over meetkunde, stelt de briefschrijvers telkens voor raadselen: zo is er sprake van een *angulus exterior* en een *angulus interior* van een driehoek en men overweegt, wat deze termen wel zouden kunnen betekenen: stompe en scherpe hoek; of hoek buiten en hoek in het vlak van den driehoek?

Ook met de termen *pedes recti, pedes quadrati* en *pedes solidi* (voeten, vierkante voeten, kubieke voeten) weet men geen raad. Er wordt van gedachten gewisseld over de verhouding van de zijde en de diagonaal van een vierkant, maar het vermoeden dat deze verhouding wel eens onvatbaar zou kunnen zijn voor uitdrukking door gehele getallen, blijkt niet op te komen. De geometrie wordt opgevat als een empirische meet-kunde: door vouwen en knippen van papier en manipulaties met een passer tracht men relaties tussen lengten of oppervlakten op het spoor te komen.

9. Het ziet er in alle opzichten naar uit, dat het hier niet een geval van singuliere onwetendheid betreft, maar dat de verkregen indruk voor het algemene niveau van mathematische ontwikkeling van den tijd geldt. Zo stelt Adelbold, bisschop van Utrecht, in 998 aan Gerbert de vraag, hoe het komt dat de oppervlakte van een gelijkzijdigen driehoek met een zijdelengte van 30 voet niet gelijk is aan de som van de getallen van een tot en met dertig (een dergelijke som heet namelijk in de Griekse arithmetica, die men uit Boethius had leren kennen, een driehoekig getal). En Gerbert moet hem tevens verzekeren, dat het volume van een bol inderdaad acht maal zo groot wordt, als men den straal verdubbelt.

Zelfs bij den meest beroemden wiskundige van de elfde eeuw, Franco van Luik, die, een generatie na Ragimbold en Radolf, een boek over de quadratuur van den cirkel schreef, dat hem enkele eeuwen lang een grote reputatie zou bezorgen, is het peil nauwelijks hoger. Hij heeft het beroemde probleem vermeld gevonden bij Boethius en verkeert in den waan, dat de verhouding 11:14, die in het *Geometricum* voor de verhouding van de oppervlakten van een cirkel en zijn omgeschreven vierkant wordt opgegeven, een door Aristoteles gevonden exacte waarde is. Het probleem van de quadratuur komt nu voor hem neer op het construeren van een vierkant, waarvan de oppervlakte gelijk is aan die van een rechthoek met zijden van 11 en 14 voet en dus ook aan die van een cirkel met een diameter van 14 voet. Aan dit probleem zijn de boeken van het werk *De Quadratura Circuli* gewijd...

C. De school van Chartres

10. De geest dien Gerbert in het onderwijs te Reims gebracht had, en die te omschrijven is als een beoefening der antieke cultuur met sterken mathematischen en natuurwetenschappelijken inslag, leefde voort in de door zijn leerling Fulbert geleide en tot groten bloei gebrachte kathedrale school te Chartres. Fulbert, een man van grote didactische begaafdheid, door zijn leerlingen als *Socrates venerabilis* betiteld, vestigde er de traditie van een goed quadrivium, waarin de methoden en instrumenten van Gerbert voor het onderwijs in wiskunde en astronomie in gebruik bleven.

De ontwikkeling der school bereikte haar hoogtepunt in de twaalfde

eeuw onder leiding eerst van Bernard, daarna van zijn broer Thierry van Chartres; zij was toen een centrum van intellectueel leven, waarmee vrijwel alle auteurs van dien tijd die voor de wetenschapsgeschiedenis van belang zijn, op een of andere wijze in contact hebben gestaan.

De wijze waarop te Chartres de wetenschap beoefend werd, vormt een duidelijke illustratie van den sterk overwegenden invloed die in deze periode van de Middeleeuwen nog van het Platonische denken uitgaat. Men kent slechts een enkel werk van Plato zelf, een fragment van den *Timaios* in een Latijnse vertaling met commentaar van Chalcidius en daarnaast citaten uit andere geschriften van antieke of patristische auteurs. Echter bestaat er een omvangrijke indirecte heidense en Christelijke overlevering. De eerste wordt gevormd door passages van Cicero en Seneca, door mededelingen in de *Noctes Atticae* van Aulus Gellius en de *Memorabilia* van Valerius Maximus, door een over Plato handelend werk van Apuleius, door den commentaar van Macrobius op het *Somnium Scipionis* van Cicero en bovenal door Boethius, wiens *De consolatione philosophiae* op menige plaats Platonischen geest ademt en die zich in het bijzonder in het negende der in den prozatekst van dit werk ingelaste Carmina, een tot den Vader aller dingen gericht gebed, over de voortbrenging der wereld uitspreekt in termen die haast letterlijk aan *Timaios* ontleend zijn, maar die tegelijkertijd bij Christelijke lezers onweerstaanbaar de gedachte aan God den Vader moesten opwekken.

De tweede komt vooral tot stand door de uitvoerige beschouwingen die Augustinus op verschillende plaatsen aan Plato wijdt. Zoals boven reeds bleek, beschouwt Augustinus Plato en zijn volgelingen als die heidense philosophen die het dichtst tot het Christendom genaderd waren; zij zouden zelfs het mysterie van de Triniteit als door den sluier van een te zwakke verbeeldingskracht heen ontwaard hebben en als enig cardinaal verschilpunt zou eigenlijk de Incarnatie overblijven[8]. In dezelfde richting gaan de uitlatingen van Claudianus Mamertus in *De Statu Animae*[9].

11. De bloeitijd van de school te Chartres in de twaalfde eeuw vormt een van der meest bekoorlijke perioden van de wetenschapsgeschiedenis der Middeleeuwen. Nog is er geen sprake van de hypertrophie der spitsvondigheid, waarin de latere scholastiek altijd weer gevaar zal lopen te vervallen en ook is men nog niet toe aan de strenge ordening van het gehele denken op den grondslag der wijsbegeerte en onder oppertoezicht van de theologie, waarin ook aan de natuurwetenschap een scherp omlijnde plaats zal worden toegewezen. Men ondergaat nog als iets nieuws de bekoring van de natuurphantasie van *Timaios* en verheugt zich over de redelijkheid van den Kosmos zonder zich al te veel dogmatische zorgen te maken.

Een typerend product van deze geesteshouding is de Genesis-commentaar van Thierry van Chartres, waarin hij het scheppingsverhaal in over-

eenstemming tracht te brengen met de natuurphilosophie van Plato-Chalcidius[10]. In aansluiting aan Augustinus worden de verschillende causae, die het ontstaan der wereld hebben bewerkt, opgesomd: causa efficiëns is God, causa materialis de vier elementen, die Hij eerst uit niets geschapen heeft; de Zoon of Goddelijke Wijsheid is causa formalis, de Heilige Geest, die met Plato's Wereldziel wordt geïdentificeerd, causa finalis.

Maar hiermee stelt Thierry zich niet tevreden en het voldoet hem evenmin, de verschillende phasen van de schepping zonder meer als de uitwerking van God's Woord te beschouwen; hij wil een physische verklaring geven van de wijze, waarop alles is ontstaan en volgt daartoe de leiding van *Timaios*. Bij de eerste hemeldraaiing heeft het bovenste element, het vuur, door bemiddeling van de lucht aarde en water verwarmd; waterdamp is opgestegen en heeft de bovenste wateren gevormd, die zich van de onderste hebben afgescheiden. Beneden is intussen het aardrijk in den vorm van eilanden uit het water opgestegen en onder invloed van de warmte van boven heeft zich plantengroei ontwikkeld. Het water in de vuurzone heeft de hemellichamen gevormd; deze brengen weer nieuwe warmte voort, waardoor weer hogere levende wezens ontstaan.

Aan deze physische scheppingstheorie, waarin een beroep wordt gedaan op de werking van intrinsieke natuurkrachten, verbindt Thierry een door Boethius geïnspireerde neo-pythagoareïsch geaarde getalspeculatie om duidelijk te maken, hoe uit den enen God de veelheid der wereld voort is gekomen. Wij vernemen nog, dat hij behalve van deze arithmetische beschouwingen ook nog gebruik wil maken van geometrie, muziek en astronomie om kennis van den Schepper te verwerven, maar de bewaard gebleven fragmenten van zijn werk *De sex dierum operibus* bevatten hierover niets.

Het is ons hier echter ook niet zozeer te doen om de details van Thierry's theorie over het ontstaan van de wereld als wel om de gelegenheid, in een sprekend voorbeeld te kunnen vaststellen, hoe levend in deze periode nog steeds de uit de Patristiek afkomstige traditie is die Plato wel graag zou willen toelaten tot het gebied van de doctrina christiana en die het Platonisme in ieder geval als zo nauw met het Christendom verwant beschouwt, dat de studie van zijn denkbeelden onmisbaar moet worden geacht. Het is een traditie die zich, in de dertiende eeuw door nieuwe bronnen gevoed, ononderbroken door de gehele Middeleeuwen heen zal handhaven om ten slotte bij het Humanisme van de Renaissance aan te sluiten[11].

12. Met de betekenis van de Platonische wijsbegeerte in de twaalfde eeuw vergeleken is die van de Aristotelische nog slechts onbeduidend. Men beschouwt den Stagiriet voornamelijk als logicus en kent hem als zodanig niet eens volledig. In het begin van de twaalfde eeuw is recht-

streeks slechts het later als *logica vetus* (oude logica) aangeduide deel van het *Organon* bekend: de *Categoriae* (met de *Isagoge* van Porphyrios) en *De Interpretatione*; omstreeks 1150 blijkt echter ook de *logica nova* (nieuwe logica), d.w.z. de twee *Analytica's*, de *Topica* en *De sophisticis elenchis* in het Westen doorgedrongen te zijn, zodat Thierry van Chartres in zijn *Heptateuchon*, een leerboek van de zeven vrije kunsten, reeds van het *Organon* in zijn vollen omvang gebruik kan maken. In het algemeen groeit in dezen tijd de indirecte bekendheid met de wijsgerige en natuurwetenschappelijke werken van Aristoteles reeds zozeer, dat de overheersende positie die hij in de dertiende eeuw zal gaan innemen, althans wordt voorbereid.

Het historische belang van de school van Chartres wordt niet in de laatste plaats bepaald door haar grote ontvankelijkheid voor de nieuwe bronnen van kennis die door het geleidelijk nauwer geworden contact met de Arabische en Byzantijnse cultuur ontsloten waren. In de twaalfde eeuw bestaat er weliswaar nog geen directe verbinding van het Westen met het Byzantijnse Oosten, maar er was althans een indirecte door bemiddeling van de kloosters in Zuid-Italië. Arabische wetenschap begint èn langs dezen weg èn via Spanje in merkbare mate door te dringen. Voordat we hierop nader kunnen ingaan, zal het nodig zijn, eerst uiteen te zetten, hoe zich de toestanden in het Oosten sedert het einde der antieke beschaving hadden ontwikkeld.

Eindnoten:

1 Philippe.
2 Men kan hierover raadplegen Rozelaar.
3 Lucretius, *De Rerum Natura* III 3
4 Philippe.
5 Hrabanus Maurus, *De Universo* IX, c. 1. PL CXI 262.
6 Thorndike. Over magie in de Middeleeuwen ook Rydberg.
7 Tannery.
8 Augustinus (1), *De Civitate Dei* X, c. 9. PL XLI 286. *Confessiones* VII, c. 9.
9 Zimmermann.
10 Liebeschütz 110-114.
11 Klibansky.

II. De bijdrage van den Islam[1]

13. Toen in 529 de laatste school der heidense wijsbegeerte te Athene door keizer Justinianus was gesloten en Alexandria ongeveer in denzelfden tijd haar betekenis als cultuurcentrum had ingeboet, was weliswaar de uitdoving van de antieke bronnen voor het licht der wetenschap een feit geworden, maar daarmee was dit licht zelf nog geenszins verdwenen; het had reeds lang andere centra bereikt, die het eens opnieuw zouden gaan uitstralen.

Men kan zulk een centrum vooreerst in Byzantium vinden, waar de kennis van het Grieks bewaard bleef en waar bovendien tal van handschriften, waaruit eenmaal een hernieuwde beleving van de Oudheid zou worden geput, gespaard bleven voor den ondergang, die hen in minder geciviliseerde streken wellicht bedreigd zou hebben. Veel meer dan behouden hebben de Byzantijnen echter niet gedaan. Het moge overdreven zijn, hun een volstrekte steriliteit ten laste te leggen, een enigszins aanmerkelijken vooruitgang op het gebied van wijsbegeerte of vakwetenschap hebben ze in de eeuwen die het einde van de Griekse cultuur van de verovering van de hoofdstad door de kruisvaarders in 1204 scheiden, toch niet weten te bewerken.

Grotere historische betekenis zou voorlopig het in stand houden van de Griekse cultuur in het Nabije Oosten hebben, die een onmiddellijk gevolg was van de uitbreiding van het Christendom in deze streken. Gedurende de eerste eeuwen van onze jaartelling is de Christelijke Kerk voor de ontwikkeling van haar theologie voornamelijk aangewezen geweest op Griekse of althans Grieks gevormde en in het Grieks schrijvende denkers en daardoor heeft ze, overal waar ze zich vestigde, mèt haar leer Helleense en Hellenistische cultuur gebracht.

Niet lang na het concilie van Nicaea (325) kwamen te Antiochia en te Nisibis Griekse scholen tot stand, waarvan de laatste na de verovering van de stad door de Perzen (363) naar Edessa verplaatst werd. Hier werd haar betekenis sterk vergroot, doordat de Christelijke secte der Nestorianen, volgelingen van den in 431 afgezetten en kort daarna verbannen patriarch van Constantinopel, Nestorius, er haar wetenschappelijk centrum van maakte. Toen een wederopleving van de anti-Nestoriaanse gezindheid in de Oosterse Kerk keizer Zenoon in 489 aanleiding gaf, haar sluiting te bevelen, werd zij weer overgebracht naar Nisibis, waardoor nu ook onder Perzisch bewind een geheel Grieks georiënteerd studiecentrum tot stand was gekomen. Het kon niet uitblijven, of het aanvankelijk speciaal theologisch gerichte onderwijs op deze scholen moest zich in profane richting uitbreiden. De studie van Griekse theologische geschriften vereiste vertrouwdheid met de Aristotelische logica en dialectica en gaf daardoor aanleiding om, ten behoeve van de studerenden, delen van het *Organon* en de *Isagoge* van Porphyrios in het Syrisch over te brengen.

Het wereldse deel van het werk van de school te Nisibis werd onder de regering van den sterk Grieks gezinden Perzischen koning Husraw Anûširwân (Grieks: Chosroës) voortgezet aan de Universiteit van Gundî-Sâpûr, waar zowel Nestoriaanse geleerden als de door Justinianus uit Athene verdreven heidense philosophen - waaronder de Aristoteles-commentator Simplikios en de neo-Platonicus Damaskios - een werkkring konden vinden. Ten behoeve van het onderwijs in de medische faculteit werden hier verscheidene Griekse werken op geneeskundig gebied in het Syrisch vertaald; de Universiteit bezat verder een observatorium, terwijl de wiskunde er als hulpwetenschap voor de astronomie beoefend werd.

In dezelfde richting als de Nestorianen, met hen wedijverend in bekeringsactiviteit en daardoor ook in verspreiding van de Griekse cultuur, werkte ook de hun vijandig gezinde secte der Monophysieten; tot haar behoorden de medicus en philosoof Sergius van Resaina, die in de eerste decennia van de 6e eeuw talrijke Griekse werken op wijsgerig en vakwetenschappelijk gebied, waaronder werken van Galenos, in het Syrisch vertaalde, en, ongeveer een eeuw later, de bisschop van Qennešrê, Severus Sêbôht, die, behalve vertalingen van delen van het *Organon* van Aristoteles, eigen verhandelingen over geografische en astronomische onderwerpen schreef (o.m. over het astrolabium), waarvan de inhoud uit Griekse bronnen stamt.

14. In dezen zelfden tijd en in deze zelfde landen begint zich nu echter als nieuwe macht, eerst op religieus, daarna op staatkundig en ten slotte op wijsgerig-wetenschappelijk gebied de Islam te doen gelden. De ontzaglijke energie, die de politieke expansie der Arabieren stuwt, blijkt gepaard te gaan met een opmerkelijk vermogen tot assimilatie van wat de oudere en rijkere beschavingen der onderworpen landen te bieden hadden. In betrekkelijk korten tijd ontwikkelt de Arabische wetenschap zich tot een hoogte waarop ze die van West-Europa voorlopig volkomen zal overvleugelen.

Dat deze wetenschap de Arabische genoemd wordt, wil evenmin zeggen, dat zij juist in het land Arabië als dat ze uitsluitend door Arabieren tot stand zou zijn gebracht. Integendeel: de voornaamste centra van haar ontwikkeling, Bagdad, Damascus, Cordova, Toledo, liggen elders en het zijn geleerden van allerlei landaard, niet eens allen Mohammedanen, die er toe medewerken. Gemeenschappelijk is alleen het gebruik van het Arabisch als voertaal, waardoor dit voor dezen cultuurkring eenzelfde betekenis verwerft als het Latijn voor het Christelijk Europa zal verkrijgen.

Aanvankelijk is de wetenschappelijke activiteit van den Islam zuiver receptief van aard. De kennis die uit Griekse en Indische bronnen toestroomt, moet eerst door overzetting in het Arabisch algemeen toegankelijk worden gemaakt en daartoe moet deze taal, die nog nooit voor dit doel had behoeven te dienen, eerst worden toebereid.

15. Dit werk wordt in de achtste en de negende eeuw met kracht ter hand genomen door de grote Khalifen uit het huis der Abbasiden al-Mansûr, Hârûn al-Rašîd en al-Ma'mûn, en daarnaast bevorderd door kleinere vorstenhoven en rijke particulieren. Aanvankelijk blijkt de belangstelling voornamelijk uit te gaan naar medische en astrologische werken, maar al spoedig mag ook de astronomie zich in een bijzondere aandacht van de zijde der vorsten verheugen. Er is telkens weer sprake van stichting van observatoria, van constructie van meetinstrumenten, van nauwkeurige waarnemingen. Weldra komen nu ook mathematische en philosophische geschriften aan de orde en wanneer de negende eeuw ten einde loopt, kan men zeggen, dat de voornaamste overblijfselen van de Griekse wijsgerige en vakwetenschappelijke literatuur en van de Indische wis- en sterrenkunde in het Arabisch toegankelijk zijn gemaakt en in de beschaving van den Islam zijn opgenomen. Intussen heeft zich dan ook een zelfstandige Arabische wetenschap ontwikkeld, die in staat blijkt, de verschillende van elders overgenomen heterogene bestanddelen te verenigen en er op voort te bouwen.

Bij de overbrenging van Griekse teksten in het Arabisch vervult de Syrische wetenschap, zoals ze vooral door de Nestorianen beoefend was, opnieuw een belangrijke functie, omdat het Syrisch aanvankelijk als tussenschakel wordt gebruikt. Onder al-Ma'mûn komt te Bagdad een instituut voor vertalingen tot stand, waar onder leiding van Hunayn b. Isḥâq een grote activiteit in het maken van rechtstreekse overzettingen uit het Grieks ontwikkeld wordt.

16. Getrouw aan ons voornemen, in dit boek de volledigheid aan de overzichtelijkheid op te offeren, beperken wij ons, wat de Arabische wetenschap betreft, tot de korte vermelding van enkele geleerden die in het bijzonder van belang zullen blijken te zijn voor de overdracht van de antieke cultuur op de West-Europese beschaving van de Middeleeuwen. De betekenis die de Arabische wetenschap op zich zelf heeft, komt daarbij niet tot haar recht. We onthouden ons van een transcriptie van de volledige Arabische namen en geven slechts de meest gebruikelijke aanduiding op, eventueel met vermelding van den gelatiniseerden vorm die in het Westen gangbaar is geworden.

1) al-Ḫuwârizmî, wiskundige en astronoom in de negende eeuw, later ook bekend als Algoritmi of Algorismi, stelde uit Griekse en Indische bronnen een eigen Arabische wiskunde samen, waarin partij werd getrokken van het doelmatige Indische cijferschrift (het nog steeds door ons gebruikte Indo-Arabische positiestelsel) en van waaruit zowel de naam als het begrip algebra in West-Europa zouden doordringen. Hij maakte verder Indische astronomische tafels bekend, waarin de goniometrische functies sinus en tangens werden gebruikt.

2) De philosoof al-Kindî was de grondlegger van de Aristoteles-interpretatie op neo-Platonischen grondslag, die typerend zou blijven voor

de Arabische opvatting van het systeem van den Stagiriet. Hij schreef ook verscheidene werken op physisch gebied (over meteorologie, bepaling van soortelijke gewichten, getijden, optica).

3) De wiskundige en astronoom Tâbit b. Qurra is behalve om talrijke vertalingen van Griekse wiskundige werken historisch van belang om zijn befaamde theorie van de praecessie; volgens hem bestaat deze niet, zoals Hipparchos en Ptolemaios hadden gemeend, uit een steeds in denzelfden zin voortgaande gezamenlijke beweging der vaste sterren, maar in een periodieke schommeling om een middenpositie. Aan deze z.g. trepidatie-theorie zou een even onverwacht als ongemotiveerd succes ten deel vallen.

4) De astronoom al-Farġânî (Alfraganus) oefende door zijn op den *Almagest* gebaseerde *Elementen der Astronomie* tot in de vijftiende eeuw toe groten invloed op de beoefening der sterrenkunde in Europa uit.

5) De astronoom al-Battânî (Albategnius) is beroemd om zijn nauwkeurige waarnemingen, die hem in staat stelden voor verscheidene astronomische constanten (o.m. de helling van de ecliptica en de praecessieconstante) verbeterde waarden op te geven en de door Ptolemaios niet opgemerkte beweging van de absidenlijn van de zonsbaan te ontdekken. Hij was tevens de auteur van een belangrijk handboek der astronomie, dat tot in de zestiende eeuw groot gezag zou behouden en waarin tevens de trigonometrie tot grotere ontwikkeling werd gebracht. Het typeert den nauwen samenhang waarin astronomie en astrologie nog steeds tot elkaar stonden, dat hij ook een commentaar schreef op den *Tetrabiblos* van Ptolemaios, waardoor hij, met andere Arabische astrologen als Mâšallâh en Albumasar, er toe medewerkte, de Griekse genethlialogie in stand te houden.

6) De wiskundige, physicus en astronoom Ibn al-Haytam (Alhazen) schreef verscheidene werken, waarvan later in Europa vooral een klein geschrift over schemeringsverschijnselen en de hoogte van den dampkring (*De crepusculis*) en een groot boek over de optica (*Thesaurus Opticae*) bekend zouden worden. Vooral door dit laatste werk, waarin hij alles wat de Grieken op het gebied der theoretische en experimentele optica hadden bereikt, in de schaduw stelde, is hij tot in de zestiende en zeventiende eeuw toe van grote betekenis voor de Europese physica geweest. In een afzonderlijk werk over brandspiegels behandelde hij, voortbouwend op de Griekse auteurs, uitvoerig en nauwkeurig de mathematische theorie van sphaerische en parabolische spiegels benevens bouw en werking van het oog. Zijn naam is verbonden gebleven aan het z.g. probleem van Alhazen, waarin gevraagd wordt, op een gegeven spherischen spiegel het punt te bepalen, waar een straal die van een gegeven lichtpunt afkomstig is, naar een gegeven oog zal worden teruggekaatst; het vraagstuk leidt tot een vergelijking van den vierden graad, die hij volgens Griekse methoden met behulp van kegelsneden meetkundig oploste.

7) De astronoom al-Biṭrûǧî (Alpetragius) stelde een zowel van Eudoxos als van Ptolemaios afwijkende theorie van de planetenbeweging op, die in de Middeleeuwen niet zonder aanhangers zou blijven. Op den inhoud van deze theorie komen we te zijner tijd terug (II: 142). Meer in het bijzonder belang voor het medische en algemeen wijsgerige denken is:

8) Ibn Sînâ of Avicenna, wiens *Canon der Medicijnen* in de Middeleeuwen een welhaast onaantastbare autoriteit zou verkrijgen, omdat hierin, naar men meende, het stelsel van den Grieksen medicus Galenos met de philosophie van Aristoteles in overeenstemming was gebracht. Door zijn wijsgerige werken, waaronder de *Sufficientia* (aldus de Latijnse titel van zijn commentaar op de *Physica* van Aristoteles) heeft hij invloed uitgeoefend op de scholastieke philosophie. Meer Platonicus dan Aristotelicus van aard, heeft hij medegewerkt aan de Platonische kleuring der Aristotelische denkbeelden, die het juiste inzicht in het stelsel van den Stagiriet lang zou belemmeren.

9) Tenslotte vermelden we den historisch wellicht allerbelangrijksten van alle Arabische denkers, den Aristoteles-commentator Averroës (Ibn Rušd), voor de latere Middeleeuwen *de* Commentator, zoals Aristoteles *de* Philosoof en Paulus *de* Apostel was. Van zijn invloed in de Scholastiek, die zo aanzienlijk is, dat richtingen zich naar hem gaan noemen, zullen wij in het vervolg nog genoeg vernemen. Hier mogen echter reeds twee eigenschappen, die hem als wijsgerig denker kenmerken, vermeld worden:

1) zijn streven, de philosophie vrij te houden van alle contact met, a fortiori van iedere ondergeschiktheid aan de theologie en in verband daarmee zijn aggressieve houding tegenover de theologen, die hem van hun kant als rationalist bestrijden.

2) zijn onbeperkte verering voor Aristoteles, die door hem met het aureool van alwetendheid wordt omgeven waarin men hem nog eeuwen lang zien zal. De natuur heeft hem voortgebracht om de uiterst bereikbare menselijke perfectie te demonstreren. Hij is ons door de Voorzienigheid geschonken, opdat wij zouden weten, wat weetbaar is. Zijn leer is de hoogste waarheid, zijn verstand het toppunt van menselijke intelligentie.

17. Wanneer wij de Arabische wetenschap in grote lijnen overzien, doet zij zich hoofdzakelijk voor als een doublure van de Griekse, aangevuld met elementen van Oostersen oorsprong. Haar functie is, met uitzondering van het gebied der wiskunde, waarop ze vooral in de algebra en de trigonometrie iets geheel nieuws gebracht heeft en waarop ze de Grieken ook in hun eigen specifieke meetkundige prestaties heeft geëvenaard en zelfs overtroffen, en dat der geometrische optica, meer conservatief dan creatief. Maar die conservatieve functie, waarin zij Byzantium in ieder geval overtreft wat den omvang van het bewaarde betreft, is historisch van het allergrootste belang geweest: zij heeft de voornaamste brug gevormd waarover de Griekse wetenschap West-Europa heeft kunnen

bereiken en de grote intellectuele opleving die de twaalfde en dertiende eeuw te zien zullen geven, is dan ook in de allereerste plaats toe te schrijven aan het feit, dat de latijnse Christenheid zich zo gretig open heeft gesteld voor de schatten van kennis en wijsheid die haar uit Arabische bronnen toevloeiden.

Wij noemden boven reeds Zuid-Italië, het koninkrijk der beide Siciliën, als de plaats waar het Westen zowel met de Byzantijnse als met de Arabische cultuur in contact kon komen. Reeds in de vroege Middeleeuwen waren er Byzantijnse kloosters met Griekse bibliotheken; monniken, om geloofsredenen uit het Oosterse Rijk uitgeweken, vonden er een toevluchtsoord. In de achtste eeuw was echter met de Saraceense overheersing ook de Arabische invloed doorgedrongen, die onder de heerschappij der Noormannen bleef voortbestaan. Het is dan ook geen wonder, dat in deze omgeving het oudste centrum van Europese wetenschap is ontstaan: Salerno, aan de golf van Napels, bezat reeds in de negende eeuw een beroemd geworden medische school, die zowel van rechtstreekse overblijfselen van de Griekse geneeskunst als van ontleningen aan de Arabische profiteerde. Hier vestigde zich ca. 1070 de Carthager Constantinus Africanus, die op lange reizen in het Oosten tal van Arabische manuscripten had verzameld en die door zijn vertaalwerkzaamheid, spoedig in het klooster Monte Cassino voortgezet, de eerste belangrijke infiltratie van Arabisch-Griekse wetenschap in het Westen bewerkt heeft.

Op dezelfde wijze als hij, namelijk zelf op reizen handschriften verzamelend, werkte in de twaalfde eeuw de Engelsman Adelard van Bath. Aan hem dankt het Westen de eerste kennismaking met de *Elementen* van Euclides, die hij ca. 1120 uit het Arabisch in het Latijn vertaalde en met een *Arithmetica* van al-Ḫuwârizmî, waarin o.m. het gebruik van het Indo-Arabische cijferstelsel behandeld werd. Hij maakte verder ook astronomische werken bekend en werkte als bemiddelaar in een eigen werk, waarover we hieronder (II: 25 vlg.) nog zullen spreken.

18. Het belangrijkste contactpunt werd echter Spanje, waar in het Noorden ook na het terugdringen van de Mohammedaanse heerschappij een grote Arabisch sprekende bevolking was overgebleven, terwijl in het Zuiden Cordova tot in de dertiende en Granada tot in de vijftiende eeuw bolwerken van Islam-cultuur bleven. Het voornaamste centrum van overdracht werd echter Toledo, dat, in 1085 door de Christenen veroverd, de zetel van Oosterse wetenschap gebleven was. Hier vormde zich op aansporing van den aartsbisschop Raymond een school van vertalers, waarvan het werk voor de ontwikkeling der Westerse wetenschap van het hoogste belang geweest is. Het vertaalwerk schijnt er vaak verricht te zijn in samenwerking van twee geleerden, waarvan de ene Arabisch en Castiliaans, de andere Castiliaans en Latijn kende. Zo werkte Domingo Gundisalvi samen met een Christen geworden Jood, die als Johannes Hispalensis of Johannes van Sevilla bekend staat. Op dezelfde wijze of als rechtstreekse vertalers

waren hier of in andere steden van Spanje of Zuid-Frankrijk werkzaam Plato van Tivoli in combinatie met den Jood Savasorda, Herman de Carinthier (Hermannus Dalmata), Robert van Chester (Robert de Rétines of Robertus Ketinensis), Rodolph van Brugge, Hugo van Santalla en, de vruchtbaarste van allen, Gerard van Cremona, die alleen al 92 vertalingen van Arabische geschriften in het Latijn op zijn naam heeft staan. In denzelfden tijd fungeert de admiraal Eugenius van Palermo aan het hof van den Hohenstauffenkeizer Frederik II op Sicilië als vertaler, terwijl iets later hier ook de befaamde, als tovenaar bekend staande Michael Scotus na een leven van omzwervingen zijn belangrijk overzettingswerk verrichtte.

Wij hebben, in afwijking van den opzet van dit boek, bij de vermelding van de twaalfde-eeuwse vertalers een zekere mate van volledigheid betracht. Hun namen zijn te weinig bekend en men realiseert zich gewoonlijk te weinig, welk een uiterst belangrijken dienst zij aan de Westerse cultuur hebben bewezen. Om hun moeizamen arbeid - want het ging hier niet om de overbrenging van een bekende stof in een verwante taal, die al over alle gewenste technische termen beschikte, maar om een langzaam doordringen in een vreemde gedachtenwereld, die in een helemaal niet vertrouwd taaleigen stond uitgedrukt, en om het scheppen van de terminologie waardoor de nieuwe denkbeelden in het Latijn zouden kunnen worden weergegeven - verdienen deze Westerse vertalers en, op denzelfden voet met hen, de Arabische die enkele eeuwen eerder voor dezelfde taak hadden gestaan, toen de inhoud van Griekse geschriften in het Arabisch had moeten worden uitgedrukt, in ieder historisch overzicht van de ontwikkeling der Europese wetenschap een plaats.

19. Wanneer men de lange lijsten der werken doorloopt, die door hun gezamenlijken arbeid voor het Westen toegankelijk zijn gemaakt, dan trekt het de aandacht, hoe vele daarvan astrologisch van aard zijn: men treft meer dan eens vertalingen aan van den *Tetrabiblos*, in het Latijn als *Quadripartitum* betiteld en van het eveneens aan Ptolemaios toegeschreven *Centiloquium* en daarnaast van werken van Arabische astrologen als Mâšallâh en Albumasar. In aansluiting aan de astrologische geschriften en daarvan niet steeds streng te scheiden komen veel astronomische voor, vaak handelend over het universele waarnemingsinstrument van die dagen, het astrolabium, maar ook complete leerboeken der sterrenkunde. Zo werden o.m. de zuiver astronomische werken van Ptolemaios, al-Ḫuwârizmî, al-Farġânî en al-Battânî bekend. Naast de astrologische zijn werken over magie, mantiek en alchemie blijkbaar in trek geweest. Zuiver wiskundige werken zijn in niet onbelangrijke mate vertegenwoordigd; we vermeldden boven reeds, dat Adelard van Bath de *Elementen* van Euclides toegankelijk maakte; daar kwamen door toedoen van Gerard van Cremona de *Data* van Euclides, de *Dimensio Circuli* van Archimedes, wellicht de *Conica* van Apollonios en zeker verscheidene oorspronkelijke

werken van Arabische wiskundigen bij. Aan Eugenius van Palermo danken wij de vertaling van de *Optica* van Ptolemaios. Ten slotte wordt een zeer belangrijke categorie gevormd door natuurphilosophische werken van Griekse en Arabische auteurs. Zo vertaalde Gerard van Cremona van Aristoteles de *Physica, De Coelo*, de *Meteora* en *De Generatione et Corruptione*, zodat van de grotere wijsgerige geschriften van den Stagiriet alleen nog de *Metaphysica* onbekend bleef. Meer aandacht trekt echter voorlopig nog het aan hem toegeschreven *Liber de Causis*, dat we reeds als de neo-Platonische *Elementatio theologica* van Proklos leerden kennen en de in dezelfde spheer thuishorende *Theologia Aristotelis*. Voorts worden werken bekend gemaakt van de Arabische geleerden Avicenna, al-Fârâbî, Avencebrol en al-Gazzâlî; ook hier begint het Aristotelisme, zij het ook in de neo-Platonische nuance, waarin de Arabieren het zelf hadden leren kennen, steeds meer door te dringen.

Eindnoten:

1 De Lacy O'Leary Mieli, Sarton I, II.

III. De natuurwetenschap in de twaalfde eeuw[1]

A. Natuurwetenschap in wording

20. Het sterke natuurwetenschappelijke karakter van de nieuw ontsloten kennisbronnen strookt zo goed met den geest die in de twaalfde eeuw de school van Chartres kenmerkte, dat het niet verwondert, wanneer men samenhang of verwantschap tussen haar eigen wetenschappelijke productie en het werk der vertalers kan vaststellen. Zo was Hermannus Dalmata een leerling van Thierry, aan wien zijn vertaling van het *Planisphaerium* van Ptolemaios is opgedragen en die hem wellicht tot zijn reis naar Spanje heeft opgewekt. En er bestaat een duidelijke overeenstemming tussen het philosophisch geschrift *De eodem et diverso*, dat Adelard van Bath naast zijn vertalingen tot stand bracht en de werken van Bernard's leerling Willem van Conches.

Beide auteurs zijn aantrekkelijke voorbeelden van de twaalfde-eeuwse natuurwetenschap; ze leggen een levendige belangstelling in physische problemen aan den dag en trachten deze door zelfstandig nadenken en onderzoek op te lossen. Dat zij daarbij in absoluten zin niet veel bereikt hebben, zal niemand verwonderen die zich in den geest van hun tijd heeft verplaatst en die daardoor een besef heeft gekregen van de ontzaglijke moeilijkheden die den groei der natuurwetenschap destijds nog tegenhielden en dit nog enkele eeuwen lang zouden blijven doen. Wij zullen, alvorens op de geschriften van Adelard van Bath en Willem van Conches in te gaan, iets meer over die moeilijkheden moeten zeggen, omdat eerst een juist begrip van hun gewicht tot een billijke beoordeling van het verrichte werk in staat stelt.

21. Zij waren van drieërlei aard, afkomstig: 1. uit de algemene geesteshouding, die den beoefenaren der wetenschap eigen was; 2. uit den toestand van het weten en kunnen dier dagen; 3. uit het eigen wezen der natuurwetenschap.

Om den eerstgenoemden invloed naar waarde te kunnen schatten, moeten we ons verplaatsen in de stemming van ontzag voor de autoriteit der traditie, waarin de Middeleeuwse denkers waren grootgebracht en daarbij goed beseffen, dat deze stemming het gebied van het natuurlijke weten even sterk beheerste als dat van het geloof. Voor het laatste aanvaardde men zonder kritiek het gezag van de Kerk, voor het eerste met een nauwelijks geringer vertrouwen dat van de Griekse denkers die door haar als het ware waren gesanctionneerd. Men kwam er daardoor ook vanzelf toe, aan te nemen, dat, evenals de Openbaring eens en voor altijd gegeven is in de H. Schrift en de commentaren der Vaders, zo ook het wezenlijke van de natuurlijke kennis voor goed was vastgelegd in de werken van de grote wetenschappelijke figuren der Oudheid. De natuurwetenschap werd

niet gezien als iets, dat voortdurend nieuw verworven moet worden, waaraan onophoudelijk moet worden verder gewerkt; men was overtuigd, dat zij al bestond, althans eenmaal bestaan had en dat het er om ging, haar terug te vinden.

Zo was althans de gangbare opinie, maar er zijn voorbeelden te over, dat ze door individuele denkers niet werd gedeeld. Het aantal uitspraken van middeleeuwse geleerden waarin aan een beroep op autoriteit in wereldlijke aangelegenheden alle bewijskracht wordt ontzegd, is legio. Om bij de periode waarmee wij ons thans bezig houden te blijven: Adelard van Bath verklaart, van zijn Arabische meesters te hebben geleerd, op het stuk der natuurlijke kennis de rede boven de autoriteit te stellen, daar toch de Ouden, die thans de autoriteit bezitten, haar ook slechts verworven hebben door hun eigen rede te gebruiken[2]. En Alanus de Insulis spreekt over de wassen neus van de autoriteit, die men tot allerlei vormen kan ombuigen en concludeert eveneens, dat men op het eigen redelijk inzicht moet bouwen[3].

Niets getuigt nu echter sterker van het intrinsieke gezag, dat de Griekse philosophen bezaten, dan het feit, dat dezelfde auteurs die zo nadrukkelijk een beroep op hun autoriteit als argument afwijzen, zo volkomen onder den invloed van hun denken blijken te staan, dat ze de wezenlijke grondslagen van het physisch wereldbeeld met even weinig kritiek van hen overnemen als de meest gelovige volgeling zou hebben gedaan. Hun physische theorieën en die van hun minder kritische tijdgenoten verschillen niet zozeer naar den inhoud dan wel naar de wijze, waarop de aanvaarding der antieke inzichten psychologisch te verklaren is: bij hen uit de overtuiging van de juistheid, bij de anderen op grond van de herkomst dier inzichten.

22. De tweede oorzaak die het tot stand komen van een zelfstandige middeleeuwse natuurwetenschap verhinderde en die haar ontstaan evengoed verhinderd zou hebben, wanneer men met een schone lei had kunnen beginnen en zich niet gebonden had geacht aan wat de Grieken op dit gebied reeds hadden bereikt, bestaat in het lage peil van de mathematische ontwikkeling, die het ontstaan van iedere quantitatieve physische theorie vooralsnog onmogelijk zou maken. Wanneer de Griekse en Arabische wiskunden eens ten volle bekend waren geweest en - wat een veel verder gaande voorwaarde is - eens geheel aan het middeleeuwse denken waren geassimileerd, zou dat bezwaar in veel mindere mate gegolden hebben; weliswaar beschikten die wiskunden nog niet over de mathematische behandeling van de afhankelijkheid en veranderlijkheid, maar het inzicht in dit denkmiddel zou in de twaalfde eeuw op grond van een wisselwerking met een zich ontwikkelende physica evengoed uit de antieke redentheorie hebben kunnen groeien, als het in de zestiende en zeventiende uit denzelfden wortel is ontstaan, wanneer men slechts ernst had gemaakt met de gedachte, mathematische categorieën op de behandeling

van de physische verschijnselen toe te passen. Die gedachte was wel reeds uitgesproken. Het woord uit *Sapientia*, dat God de wereld heeft geordend *in mensura et numero et pondere*[4] (naar maat, getal en gewicht) deed destijds reeds opgeld en het kan worden aangevuld met een uitspraak van Augustinus, waarin gezegd wordt, dat het getal, dat de orde in de natuur beheerst, op zijn beurt aan wetten gehoorzaamt die tot de eeuwige waarheden behoren[5]. Maar wat was er van de uitwerking van dit principiële inzicht te verwachten in een tijd, die de elementairste beginselen van de wetenschappen, die over maat en orde, getal en gewicht handelen, nog moest leren?

In dit verband rijst vanzelf de vraag, in hoeverre een tekort aan technische ontwikkeling mede verantwoordelijk kan zijn geweest voor het trage tempo, waarin het physisch denken groeide, Het lijkt waarschijnlijk dat aan dezen factor evenmin een doorslaggevende betekenis behoeft te worden toegekend als het ontbreken van een mathematische theorie der variabiliteit bij voldoende kennis der Griekse wiskunde zou hebben bezeten. Evenals physica en wiskunde groeien ook physica en techniek in onderlinge wisselwerking. De eerste heeft de hulp van de laatste nodig voor de vervaardiging van haar instrumenten van onderzoek, maar zij vergoedt den bewezen dienst rijkelijk door de nieuwe inzichten en impulsen die zij er voor in de plaats geeft. Alles komt er hier maar op aan, dat men een begin maakt. Het technisch kunnen van een tijd, waarin grote kathedralen met gebrandschilderde ramen konden verrijzen zou ongetwijfeld toereikend zijn geweest om de physica aan haar eerste instrumenten te helpen; noch de valgoot van Galilei noch de glazen buis van Torricelli zou een technische onmogelijkheid zijn geweest, wanneer de behoefte er aan slechts bestaan had.

23. Maar - en hiermee komen we op de derde oorzaak en raken tevens de kern van de kwestie - die behoefte bestond niet, en dat kwam, omdat men er nog geen juist denkbeeld van had, hoe de natuurwetenschap beoefend moet worden om haar tweeledig doel, het verwerven van inzicht in de werkwijze der natuur en het leren beheersen van de natuurkrachten die zich daarin openbaren, te bereiken. Achteraf, nu er iets bereikt *is* en nu het dus wel vaststaat, dat het natuuronderzoek niet geheel op den verkeerden weg is, lijkt dat zo eenvoudig: opmerken, nauwkeurig waarnemen, verschijnselen isoleren, onderstellingen ter verklaring maken en de consequenties daarvan aan nieuwe opzettelijk veroorzaakte verschijnselen toetsen. Dan meten, de resultaten mathematisch formuleren en daardoor den weg openen tot voorspellingen die ook quantitatief controleerbaar zijn. En ten slotte: een mathematisch begrippenstelsel opbouwen waarin het onderzochte gebied van natuurverschijnselen een geidealiseerde afbeelding verkrijgt en dat misschien wel het hoogste inzicht in de natuur vertegenwoordigt dat aan den menselijken geest gegund is.

Evenwel: dit schijnbaar zo voor de hand liggend methodisch inzicht

is de vrucht van een eeuwenlang voortgezet moeizaam zoeken en in den tijd die ons thans bezig houdt, was dat zoeken na een onderbreking van ettelijke eeuwen nog slechts sedert kort weer ter hand genomen en moesten nog tal van dwalingen overwonnen worden waarin men aanvankelijk welhaast onvermijdelijk moest vervallen.

24. Een van die dwalingen, waarvan juist Plato, juist die Griekse wijsgeer dus waarvan de invloed in de twaalfde eeuw het krachtigst werkzaam was, op bijna groteske wijze het slachtoffer was geworden, bestond in een overschatting van wat het denken uit eigen kracht, dus zonder de hulp van de ervaring, op natuurwetenschappelijk gebied kan bereiken, een overschatting die bij hem uit een eenzijdig wiskundige geestesinstelling voortkwam. De menselijke geest heeft nu eenmaal de overtuiging - in hoeverre deze op een illusie berust, kan hier in het midden blijven - dat zij de wiskunde zonder medewerking van de ervaring uit eigen kracht voortbrengt en dat verleidt licht tot de mening, dat de kennis der natuur wel langs denzelfden weg te verwerven zal zijn. Maar de natuur is een harde werkelijkheid buiten ons en wanneer we menen, ook haar te kunnen doorgronden door eigen gedachten uit te spinnen, worden we gestraft met onvruchtbaarheid van onzen arbeid. De wiskundige moge, om een beeld van Francis Bacon te gebruiken[6], zijn als een spin, die uit eigen substantie haar web weeft, de physicus moet zijn als een bij die honing puurt uit wat hij, naarstig in de buitenwereld zoekend, vergaart.

De physica heeft dus, zo goed als de wiskunde, een eigen methodiek van node en dat de Grieken er op zo wonderbaarlijke wijze in geslaagd waren, de eerste op het spoor te komen, waarborgde nog niet in het minst, dat zij bij het zoeken naar de tweede ook de meest betrouwbare gidsen waren.

Zij waren dat zelfs zeer bepaald niet en de oorzaken zijn deels al opgesomd, toen wij over hun natuurwetenschap spraken, deels in het bovenstaande nog eens vermeld. Het komt eigenlijk daarop neer, dat zij de specifieke denktucht misten die voor natuurwetenschappelijk werk vereist wordt. Zij bouwden op onvoldoend empirisch materiaal wereldomvattende theorieën, streefden te veel naar een bevrediging van de menselijke behoefte aan een overzichtelijke afronding en een gemakkelijk aansprekende harmonie in het theoretisch wereldbeeld en verstrengelden hun natuurwetenschappelijke denkbeelden te nauw met religieuse voorstellingen.

Denk nu echter hun theorieën ingekleed in het indrukwekkend gewaad van een door traditie geheiligde autoriteit, die bijna op één lijn werd gesteld met het gezag, dat de kerkleer in geloofszaken genoot. Is het wonder, dat de pas beginnende Westeuropese natuurwetenschap niet onmiddellijk gevoeld heeft, dat zij niet de definitieve waarheid over de natuur leerden en dat men, om deze op het spoor te komen, gans andere wegen moest inslaan?

B. Adelard van Bath en Willem van Conches

25. Thans terugkerende tot de natuurwetenschap van de twaalfde eeuw schetsen we in grote lijnen het wereldbeeld dat uit de werken van Adelard van Bath[7] en Willem van Conches[8] voor ons oprijst, waarbij we ter aanvulling ook het een en ander ontlenen aan de geschriften van den Fransen Platonist Bernard Sylvester[9].

Van den eerste bezitten we, behalve het reeds genoemde *De eodem et diverso* een werk onder den titel *Questiones Naturales*, dat den vorm heeft van een gesprek van den van zijn reizen teruggekeerden en van de nieuwe daarbij opgedane indrukken over Arabische natuurwetenschap vervulden auteur met zijn in Frankrijk scholastiek opgevoeden neef. Willem van Conches schreef, behalve een beroemd geworden commentaar op Plato's *Timaios*, een *Philosophica Mundi*, waarmee een later werk, *Dragmaticon Philosophiae*, op enkele belangwekkende, nog nader te bespreken afwijkingen na, naar inhoud overeenstemt. Bernard Sylvester is de auteur van een in de Middeleeuwen wijd verspreid sterk astrologisch getint geschrift *De Mundi Universitate*. Bij alle drie bevinden wij ons volop in de spheer van de Platonische natuurleer, zoals deze zich in de Timaios-commentaren van de middelste Stoa door vermenging met de Aristotelische elementenleer ontwikkeld had. Dat deze wijze van natuurverklaring thans weer zo sterk haar invloed deed gelden, vindt zijn oorzaak niet alleen in het feit, dat zij nog steeds voortleefde in de patristische kosmologie. Daarnaast is reeds duidelijk de uitwerking van het bekend worden van de Arabische wetenschappelijke literatuur vast te stellen. Door toedoen van Constantinus Africanus waren vooral de werken van Galenos in het Westen doorgedrongen, die voor den philosophischen onderbouw van zijn uit de medische empirie gegroeid stelsel uit dezelfde bronnen had geput als de Vaders het voor hun Genesis-commentaren hadden gedaan. Het samenvloeien van beide stromingen verlevendigde thans de behoefte aan een physische verklaring van het ontstaan en de inrichting van de materiële wereld.

Wij zijn hier - er werd boven reeds op gewezen, dat men niet anders kon verwachten - nog heel ver af van de natuurwetenschap, zoals die in de zestiende en zeventiende eeuw worden zal, maar we staan er in zekeren zin toch dichter bij dan wanneer in de dertiende eeuw de peripatetische physica haar stempel op het natuuronderzoek zal hebben gedrukt en de vraag naar het wezen der dingen die naar hun gedragingen zal hebben teruggedrongen. Er wordt hier alleen van physische, niet van metaphysische verklaringsprincipes gebruik gemaakt. Wanneer bij voorbeeld Willem van Conches de verschijnselen in den dampkring indeelt in luchtachtige (wind en storm), waterachtige (wolken en neerslag, waarbij ook de regenboog behandeld wordt) en vuurachtige (donder en bliksem, vallende sterren, kometen en Sint Elmusvuur) en wanneer hij deze alle

tracht te verklaren met behulp van bewegingen in den dampkring en van veranderingen die de samenstellende bestanddelen daarvan door onttrekking of toevoer van warmte ondergaan; wanneer hij daarnaast een physiologie van het menselijk lichaam ontwikkelt die op de eigenschappen der elementen gebaseerd is, dan is er in de daarbij optredende beschouwingswijzen veel, wat de latere natuurwetenschap als ontoereikend, maar niets wat zij als principieel onphysisch zal behoeven te verwerpen. Evenmin is dat het geval met de opvattingen over den bouw van de stof, die bij Adelard en Willem van Conches voorkomen: zij beschouwen kennelijk beiden de veranderingen in de stoffelijke wereld als het resultaat van een gewijzigde groepering van kleine deeltjes. Willem beschrijft deze als enkelvoudig naar qualiteit, minimaal naar quantiteit (*simpla ad qualitatem, minima ad quantitatem*), maar betitelt ze niet als atomen. Dat zijn ze in den Demokritischen of Epicuraeischen zin ook niet, omdat ze onderling in qualiteit kunnen verschillen.

26. Een typerend Platonische trek in het wereldbeeld van Willem is ook, dat hij de voortbrenging van mensen en dieren niet door den Schepper zelf laat geschieden; deze heeft, evenals de Demiurg in den *Timaios*, deze taak toevertrouwd aan de eerder door Hem geschapen sterren en geesten; zelf geeft Hij alleen aan het langs natuurlijken weg gevormde lichaam de ziel, die er een levend wezen van maakt. Deze opvatting heeft twee belangrijke consequenties: vooreerst een aanzienlijke uitbreiding van het terrein waarop zuiver natuurwetenschappelijke verklaringen kunnen worden gegeven en vervolgens de toekenning van een sterk ingrijpenden invloed op de stoffelijke natuur aan den sterrenhemel.

De eerste gevolgtrekking komt bij Willem duidelijk tot uiting in zijn interpretatie van de beschrijving van de schepping van den mens in Genesis: dat Adam geschapen is uit het stof der aarde, moet zo worden verstaan, dat zijn lichaam ontstaan is uit een deel der materie, waarin de qualiteiten der elementen op passende wijze te samen zijn gekomen, terwijl de voortbrenging van Eva uit een rib van Adam betekent, dat zij door de werking der natuurkrachten is ontstaan uit een ander, maar toch niet geheel in aard verschillend deel der materie dan hij. Willem verweert zich hierbij bij voorbaat tegen het mogelijke verwijt van naturalisme, d.w.z. van een opvatting die alles, wat in feite uit God voortkomt, toe wil schrijven aan een zelfstandig werkende Natuur; dat is zijn bedoeling niet: de Natuur werkt, omdat God haar het vermogen daartoe verleend heeft.

Bij het geven van natuurwetenschappelijke verklaringen moet men nu echter niet weer een beroep doen op God's almacht. Adelard spreekt zich in denzelfden zin uit en zij geven daardoor beiden uiting aan een beginsel dat de beste denkers der Middeleeuwen steeds in acht zullen blijven nemen: hoe theocentrisch hun wereldbeschouwing ook is, hoezeer ook in en achter alles God's aanwezigheid en werking gevoeld wordt, het gaat niet aan, zich in wetenschappelijke vragen rechtstreeks op Hem te be-

roepen: dat is een *refugium miserorum* (een toevlucht voor de zwakken). Willem waarschuwt in dit verband ook tegen het betrekken van de H. Schrift in natuurwetenschappelijke kwesties: de Bijbel verhaalt niet, hoe alles zich bij het ontstaan van de wereld heeft toegedragen, maar deelt slechts in beeldspraak het resultaat van het scheppingswerk mee.

27. Willem van Conches vormt een typisch voorbeeld van de gecompliceerde psychologische situatie waarin de beoefenaren van de middeleeuwse natuurwetenschap door het overheersend theologisch karakter van de geestelijke spheer van den tijd gebracht werden: het natuurwetenschappelijk denken kon niet nalaten, zich op terreinen te begeven die onder de competentie der theologie vielen, en dan konden zich gemakkelijk conflicten voordoen met behoeders van de zuiverheid van de leer die in de natuurwetenschap vaak niet veel meer dan een enigszins verdacht, aan ketterij grenzend bedrijf konden zien. Dergelijke moeilijkheden zijn Willem ook niet bespaard gebleven: Zijn naamgenoot, de abt van St Thierry, kwam in een brief aan Bernard van Clairvaux (die ook al niet al te welwillend tegenover de wetenschappelijke belangstelling in de natuurverschijnselen stond) vooreerst op tegen de Platonische theorie, dat God aan het lichaam alleen de ziel zou meedelen, een gedachte die hem niet ver lijkt af te liggen van de Manichaeische leer, volgens welke het lichaam door den Prins der Duisternis wordt voortgebracht en alleen de ziel van een goeden God afkomstig is. Bovendien maakte hij bezwaar tegen de door Willem van Conches geleerde toevoeging van de drie vermogens macht, wijsheid en wil aan de drie Personen van de H. Triniteit, een opvatting die samenhing met de identificatie van den Heiligen Geest met Plato's Wereldziel, het activerend element van de op zichzelf dode stoffelijke wereld. En ten slotte kwam hij met woorden van de sterkste afkeuring er tegen op, dat Willem atomistische theorieën had ontwikkeld, waarvan de H. Schrift niets zegt: hij ziet hierin een Epicuraeischen invloed en deinst voor de beschuldiging van ketterij niet terug.

De laatste reactie laat zien, hoezeer het wantrouwen in het atomisme sedert den tijd van Hrabanus Maurus weer gegroeid was, waaraan het feit, dat ketterse secten als de Catharen en Albigensen zich met voorliefde van atomistische voorstellingen bedienden, wel niet vreemd zal zijn geweest. De gehele Middeleeuwen door zullen alle aanhangers van corpusculairtheorieën er door getroffen worden, ook al verschillen hun opvattingen principieel van die van de atomisten. Die van Willem van Conches deden dat: zijn kleinste deeltjes zijn geen partikels van een qualiteitloze oerstof, maar minima van qualitatief verschillend geaarde elementen en dat was een conceptie die, zoals reeds bleek en nog blijken zal, met Aristotelische en dus ook met scholastische grondbeginselen geenszins onverenigbaar was. De traditie die hij volgt, is niet de Demokritisch-Epicuraeische, maar veeleer die van verschillende Griekse medische

kringen en het is moeilijk uit te maken, in hoeverre zij van Empedokleïschen, van Platonischen of van Aristotelischen oorsprong zijn.

28. Tot een ernstig conflict heeft de klacht van den abt van St Thierry overigens niet geleid. Willem van Conches neemt in zijn *Dragmaticon* de beweringen uit de *Philosophia Mundi* die in strijd waren geacht met de Kerkleer of den Bijbel terug; hij houdt zich inzake het scheppingsverhaal thans aan de letter van de H. Schrift en trekt ook de toevoeging van de macht aan den Vader en van den wil aan den H. Geest wegens gemis aan schriftuurlijke autoriteit in; de toekenning van de wijsheid aan den Zoon blijft echter onder beroep op Paulus gehandhaafd; de gelijkstelling van de corpusculaire beschouwingen met het atomisme van Epikouros wordt afgewezen. Na aldus zijn geweten ontlast te hebben (niet de woorden maken den ketter, maar de verdediging ervan, merkt hij op[10]) philosopheert hij echter in denzelfden trant als in zijn eerste werk voort, waarbij hij echter stilzwijgend ook de identificatie van den H. Geest met Plato's Wereldziel laat vallen.

De plaatsruimte staat ons niet toe, dieper op de belangwekkende persoonlijkheid van Willem van Conches in te gaan; een trek, die zijn wetenschappelijke geesteshouding kenmerkt, verdient echter nog vermelding: het is zijn betoog van de onmisbaarheid van talenstudie, die in staat stelt, steeds de oorspronkelijke bronnen te raadplegen. Of hij dat beginsel zelf zo ver in practijk heeft gebracht, dat hij Grieks en Arabisch kende, blijkt niet. Echter noemt Johannes van Salisbury hem den besten grammaticus van zijn tijd na Bernard van Chartres, zodat hij het Latijn blijkbaar wel volkomen heeft beheerst[11].

29. De aan Plato's *Timaios* ontleende overtuiging, dat de physische verschijnselen op aarde beheerst worden door de hemellichamen, wordt volledig gedeeld door Willem's geestverwant Adelard van Bath. Deze noemt in zijn werk *De eodem et diverso*, waarvan reeds de titel, herinnerend aan de Platonische onderscheiding[12] van ταὐτόν (het Eendere) en θάτερον (het Andere), den invloed van *Timaios* demonstreert, de hemellichamen goddelijke levende wezens, die de principes en oorzaken zijn van alle lagere naturen. Wie de astronomie beheerst, kan niet alleen het heden, maar ook verleden en toekomst van de ondermaanse dingen begrijpen. De lichamen dier hemelse wezens zijn weliswaar samengesteld uit de vier sublunaire elementen, maar in hun samenstelling overheersen die bestanddelen die het meest tot leven en rede leiden, vooral een vriendelijk en onschadelijk vuur; daardoor en mede door hun ronden en vollen vorm zijn ze in zo goede harmonie met de menselijke rede; zij vertegenwoordigen als het ware een verfijnden en verhelderden vorm daarvan. Waar de rede echter in onze donkere en verstoorde wereld al zoveel kan voorzien, is het begrijpelijk, dat zij door hun bepaalde en vaste bewegingen nog meer intelligentie aan den dag leggen.

De grote betekenis die hij aan de hemellichamen toekent voor de leiding

van wat zich op aarde afspeelt, voert Adelard gevaarlijk dicht bij theologische beschouwingen, die hem, verder ontwikkeld, ook wel eens in moeilijkheden zouden hebben kunnen brengen. Zo stelt de neef, waarmee hij het gesprek voert, de vraag of het ἄπλανον, de vaste spheer buiten die der vaste sterren, wellicht ook God kan worden genoemd, waarop het antwoord luidt, dat dit in zekeren zin misschien wel juist is, maar in een anderen zin vreselijk zou zijn, zodat het verkieslijk lijkt, hier maar liever over te zwijgen.

30. De sterke voorliefde voor het astrologische, die de theorieën van Willem en Adelard kenmerkt, bereikt een hoogtepunt bij Bernard Sylvester, wiens beschouwingen men eerder bij een denker der zestiende-eeuwse Renaissance- dan bij een twaalfde-eeuwsen scholasticus zou verwachten. De sterren beheersen de natuur en voorspellen de toekomst. Aan hem die een bescheiden en wijs onderzoek instelt, leren ze veel wat hem overkomen zal en veel over afwezige personen. Ook geeft de astrologie inlichtingen over het karakter van een mens, over ziekte en gezondheid, welvaart, vruchtbaarheid van den bodem, den toestand van zee en lucht, over zaken en reizen. Van hieruit naar een complete genethlialogie is het nog slechts een stap.

Het trekt nu wel zeer de aandacht, dat dergelijke beschouwingen in de twaalfde eeuw gehouden konden worden zonder dat iets blijkt van theologische oppositie. Willem van Thierry rept in zijn brief aan Bernard van Clairvaux met geen woord over den toch zo onmiskenbaren astrologischen inslag van het werk van Willem van Conches en ook de andere Platonisten schijnen er nooit over lastig te zijn gevallen. Blijkbaar waren de Christelijke theologen langzamerhand een veel verzoenender standpunt ten aanzien van de astrologie gaan innemen dan ten tijde der Kerkvaders gangbaar was geweest.

C. Alanus de Insulis[13]

31. De periode waarin het Platonisme de overheersende antieke invloed in het natuurwetenschappelijk denken der Middeleeuwen is, vindt een zekere afsluiting in het werk van Alanus de Insulis, waarin aan den vooravond van de grote doorbraak van het Aristotelisme nog eens een samenvatting wordt gegeven van de beschouwingswijze die tot dusver het denken over de natuur beheerst had. Alanus deelt met de school van Chartres de onbegrensde verering voor Plato, die echter ook bij hem uitsluitend gebaseerd is op de kennis van het door Chalcidius vertaalde en toegelichte *Timaios*-fragment; hij kent verder alleen nog den *Phaidoon* van naam en naar de algemene strekking. Voor ons onderwerp is het vooral van belang, dat hij de Natuur als een alles beheersende, wetgevende en vormverlenende macht tussen God en de wereld stelt. Zij is voor hem een wezen,

dat God tegelijk met de wereld geschapen heeft en dat nu in Zijn plaats de verdere ontwikkeling verzorgt en leidt. Zij is de plaatsvervangster en nederige leerlinge van den Schepper. Zelf schept zij niet; zij heeft te maken met een reeds voorhanden stof. Tot haar domein behoren niet de goddelijke en onvergankelijke, maar de vergankelijke stoffelijke dingen. Gesubordineerd aan God oefent zij een onbeperkte macht over de wereld uit; in het bijzonder vormt zij de menselijke lichamen, waaraan God dan de ziel geeft.

Deze Natura van Alanus, een conceptie die door Chalcidius, Johannes van Salisbury en Willem van Conches was voorbereid (de laatste maakt onderscheid tussen het *opus creatoris* en het *opus naturae* (het werk van den Schepper en dat van de Natuur), dankt haar ontstaan aan Plato's Wereldziel; het verschil tussen de beide voorstellingen is echter dit, dat bij Plato de Wereldziel als het ware onbewust werkt, daar zij geen acht meer slaat op de eeuwige ideeën waarop de Demiurg bij de ordening der wereld het oog had gericht gehouden, terwijl de Natura van Alanus toegerust is met kennis van alle dingen.

Aan het door Alanus ingevoerde begrip Natuur, beschouwd als een wezen, waarin het geheel der natuurkrachten, de wetmatigheid van hun werkwijze en hun onderlinge samenhang was gehypostaseerd, was een grote toekomst beschoren. Het gaf een eenvoudige uitdrukking voor de universele macht achter de stoffelijke verschijnselen, waarvan men steeds een dankbaar gebruik is blijven maken. Daarbij is echter op den duur gebeurd wat te verwachten was: wanneer God de leiding van het stoffelijk gebeuren toch helemaal aan de Natuur overlaat, komt het er gemakkelijk toe, dat de plaatsvervanger, die de wetten uitvoert, belangrijker geacht wordt dan de opdrachtgever, die ze heeft vastgesteld. Voor den natuuronderzoeker als zodanig kon de Natuur daardoor geredelijk object niet alleen van zijn nasporingen, maar ook van zijn verering worden.

32. De invoering van de hypostase Natuur is voor Alanus blijkbaar een middel geweest, om tot klaarheid te komen in het voor de Middeleeuwen zo brandende probleem van de onderlinge betrekking tussen geloof en wetenschap. De menselijke wetenschap heeft de activiteit der Natuur als voorwerp van onderzoek; zij verwerft kennis van de lagere oorzaken, doordat zij de naturen der aardse dingen doorvorst, maar zij is niet in staat, uit eigen kracht de hogere oorzaken op het spoor te komen en in de goddelijke mysteriën door te dringen. Alanus drukt dit in zijn gedicht *Anticlaudianus*[14] als volgt allegorisch uit: Prudentia (waarin de menselijke wijsheid gepersonifieerd is) kan uit eigen kracht de aardse ruimten doorlopen maar, aan de grens van het firmament gekomen, staat ze radeloos stil. Om den weg door de bovenaardse regionen die haar dan nog van God's troon scheiden te kunnen afleggen, heeft ze de hulp van Theologia en Fides van node. Geloof en wetenschap zijn dus streng gescheiden,

maar niet in dien zin, dat zij met elkaar in strijd zouden kunnen zijn; ze bewegen zich in twee volkomen gescheiden spheren.

Alanus laat de Natuurwetenschap zelf haar standpunt ten opzichte van de Theologie bepalen[15]: 'In de meeste dingen denken wij niet tegengesteld, maar verschillend. Ik schenk geloof door de rede, zij inzicht door het geloof. Ik geef mijn instemming omdat ik weet; zij weet omdat zij instemt. Ik moet weten om te kunnen geloven; zij gelooft om te kunnen weten. Het geloof is een inzicht in de dingen, verkregen door instemming zonder kennis van oorzaken.' In dit ontbreken van inzicht in de gronden, niet in de zekerheid die het verschaft of de waarde van het object waarover het handelt, staat het bij de wetenschap ten achter. Met instemming haalt Alanus een woord van Gregorius de Grote aan: het is geen verdienste iets te geloven, waaraan de menselijke rede een bewijsgrond verleent[16].

33. In het algemene Platonische karakter van de twaalfde-eeuwse natuur-philosophie past de uitgesproken voorkeur voor de Pythagoraeïsche beschouwingswijze van de natuur, waaraan Alanus zo dikwijls een welsprekende uiting verleent en die we ook bij Willem van Conches, Adelard van Bath en Hugo van St. Victor aantreffen. Zij hadden allen door bemiddeling van Boethius den invloed van de getalspeculaties van Nikomachos van Gerasa ondergaan en gaarne weiden zij uit over de verbindende en ordenende werking die het getal op metaphysisch en kosmologisch gebied uitoefent. Getallen zijn principe en doel, oerbeeld en stempel voor de wordende dingen; naar hun voorbeeld heeft God aan de dingen hun vorm, aan de wereld haar gestalte gegeven. Het getal is de grond van de eenheid van het samengestelde, het verbindt de elementen onderling, de ziel met het lichaam, het beweegt de sterren en regeert de wereld.

In verband met deze neo-Pythagoraeïsche instelling staat een hoge waardering van arithmetica en muziek, terwijl Alanus zich naar Pythagoraeïschen trant ook gaarne verdiept in de opstelling van paren tegenstellingen, waarin zich het waardeonderscheid van het evene en het onevene herhaalt en spiegelt.

Eindnoten:

1 Baumgartner, Duhem (6) III, Liebeschütz, Picavet (1), Reuter II, Taylor, Thorndike II, Werner, Willner.
2 Thorndike II 28.
3 Baumgartner 28. Sed quia auctoritas cereum habet nasum, i.e. in diversum potest flecti sensum, rationibus roborandum est.
4 Liber Sapientiae 11: 21.
5 Augustinus (2), *De libero arbitrio* II. XI-XVI.
6 Francis Bacon, *Redargutio Philosophiarum*. Works III 583. Verg. N.O. I 95. Works I 201.
7 Thorndike II, Willner.
8 Werner.
9 Thorndike II 99. Sarton II 198.
10 Verba enim non faciunt haereticum, sed defensio. Reuter II 300.
11 Johannes Saresberiensis, *Metalogicus* I, c. 5. PL CIC 832.
12 Plato (1) 35 A.
13 Baumgartner.
14 De naam betekent niet, dat het gedicht tegen Claudianus gericht zou zijn, maar wil alleen uitdrukken, dat de opzet een andere is dan die van zijn gedicht *In Rufinum libri II*. Terwijl hierin in het begin alle ondeugden ten tonele worden gevoerd, om Rufinus ten verderve te brengen, roept Alanus alle deugden op om een gelukkig mens te vormen. PL CCX 483-84.
15 Alanus, *Liber de planctu Naturae*. PL CCX 446.

16 PL LXXVI 1197.

IV. De natuurwetenschap in de dertiende eeuw

A. De receptie van het Aristotelisme[1]

34. Hoe sterk ook de invloed geweest is dien het West-Europese denken voor het jaar 1200 reeds van de Griekse Oudheid had ondergaan, zo waren er toch nog steeds twee grote antieke geestesmachten die nog slechts onvolledig gelegenheid hadden gehad, hun werking uit te oefenen. De ene daarvan, de wijsbegeerte en natuurwetenschap van Aristoteles, zou dat in de dertiende eeuw ten volle gaan doen en met haar zullen wij ons dan ook voorlopig uitsluitend bezig moeten houden; de tweede, de Griekse wiskunde, zou eerst in de zestiende eeuw haar beurt krijgen.

Men kan niet zeggen, dat Aristoteles voor 1200 in West-Europa niet bekend was. Van de oudste tijden af waarin van een Westerse geestescultuur gesproken kan worden, had door toedoen van Boethius een deel van het *Organon* ter beschikking gestaan en in den loop van de twaalfde eeuw had men het in zijn geheel leren kennen. Ook waren, opnieuw dank zij Boethius en verder door Chalcidius en de natuurwetenschappelijke encyclopaedieën, verschillende van zijn wijsgerige en natuurwetenschappelijke denkbeelden hier doorgedrongen. Echter ontbrak nog de volledige kennis van zijn geschriften en daardoor had de fascinerende werking die in latere tijden juist van de totaliteit van zijn systeem zou uitgaan, zich nog niet bemerkbaar kunnen maken. De dertiende eeuw is nu in grote trekken te omschrijven als de periode van opneming en verwerking van dit systeem. Daardoor vormt zij een van de tijdperken van radicale vernieuwing van het denken, zoals de vierde eeuw voor Christus, waarin de stelsels van Plato en Aristoteles waren ontstaan en de Griekse wiskunde haar groten opbloei had beleefd er een geweest was en zoals de zeventiende door de geboorte van een mathematische natuurwetenschap er een worden zou.

35. Het is een nieuw symptoom van de grote historische betekenis die aan de cultuur van den Islam toekomt, dat het weer de Arabieren zijn geweest waaraan het behoud van het Aristotelisme ën zijn overdracht aan de Westerse wereld te danken is. Verscheidene Arabische denkers, waaronder Avicenna en Averroës op de eerste plaats genoemd mogen worden, hadden het wijsgerige stelsel van Aristoteles bestudeerd en toegelicht en toen hun werken van Spanje uit in West-Europa bekend werden, kwam het hier in vollen omvang onder de wijsgerige aandacht. Dat het niet in zuiveren vorm werd meegedeeld, zagen wij boven reeds. De Arabieren hadden de werken van Aristoteles nooit in den oorspronkelijken tekst, maar alleen in Syrische vertalingen leren kennen; de Westerse Christenheid kreeg nu weer Latijnse vertalingen van Arabische redacties in handen. Bovendien stond de Arabische interpretatie onder neo-Platonischen

invloed. Voegt men hier nog bij, dat de Stagiriet zelf zich vaak uiterst beknopt en onvolledig uitdrukt, dan zal het duidelijk zijn, dat de vraag naar de juiste strekking van zijn gedachten voor de Scholastiek een ernstig probleem moest worden en dat zijn geschriften als het ware riepen om commentariëring, die er dan ook ruimschoots aan ten deel is gevallen.

36. Dat het stelsel van Aristoteles zulk een ontzaglijk sterken invloed op de Westerse cultuur heeft uitgeoefend, is een gevolg van het alomvattend synthetisch karakter, dat aan de Aristotelische wereldbeschouwing eigen is. Terwijl Alanus de Insulis hem nog voor een logicus zonder meer kon houden, besefte men in de dertiende eeuw al spoedig, dat hij op geen enkele wijze als beoefenaar van een enkelen tak van het weten te beschouwen was, maar dat zijn denken alles omvatte wat object van wetenschappelijke behandeling kon zijn, van een concreet onderwerp als de zoölogie af tot aan de algemene zijnsleer. Daardoor was het ook voor alle denkers van belang, voor beoefenaren der natuurwetenschap zo goed als voor philosophen en theologen.

Dit laatste punt was wellicht het allerbelangrijkste. Toen de Scholastici eenmaal met de *Metaphysica* van Aristoteles kennis hadden gemaakt, hebben de scherpzinnigsten onder hen dadelijk bij intuitie gevoeld, dat hier nu voor het grijpen lag wat het Christendom van den tijd van zijn ontstaan af altijd al had gezocht, maar nog nooit had kunnen vinden: een philosophisch stelsel, dat met de Christelijke geloofsleer in harmonie zou kunnen worden gebracht en dat daardoor een redelijken onderbouw voor de dogmatiek en een wapen voor de apologetiek zou kunnen verschaffen.

Het was een inzicht, dat van een uiterst scherpen blik op het essentiële karakter van de Aristotelische wijsbegeerte getuigde. Immers bij oppervlakkige beschouwing kon het gemakkelijk den schijn hebben, dat dit stelsel van Christelijk standpunt veel moeilijker aanvaardbaar was dan het Platonische, dat tot dusver, zo goed en zo kwaad als het ging, de wijsgerige fundering van de Christelijke leer had moeten leveren. Terwijl Plato weliswaar geen schepping uit niets, maar dan toch een constructie van de wereld door een goeden Demiurg geleerd had, nam Aristoteles aan, dat zij van eeuwigheid her bestaan had, terwijl hij, eveneens in afwijking van de Christelijke opvatting, ook haar toekomstige eeuwigheid leerde. De Platonische ideeën hadden zich ongedwongen als gedachten Gods laten interpreteren. Al had de Demiurg, na de hoofdlijnen van den wereldbouw te hebben aangegeven, zich ook teruggetrokken in zijn eigen zijnswijze en de voltooiing en leiding van zijn werk aan geschapen machten overgelaten, zo bleef toch de wereld onder goddelijk oppertoezicht. Wij zagen reeds, hoe spontaan de overeenstemming tussen de Wereldziel en den H. Geest zich aan Christelijke denkers opdrong. In tegenstelling tot dit alles was de God van Aristoteles een wonderlijk abstract wezen, iets zo absoluut transcendents, dat er nauwelijks de bevrediging van enige religieuse behoefte van scheen te kunnen uitgaan: buiten de wereld, die

Hij niet gemaakt had, in volstrekte zelfgenoegzaamheid rustend stond Hij er slechts mee in verband als het uiteindelijk doel, waarnaar alle aardse onvolkomenheid opwaarts streefde. Daar de Stagiriet bovendien, althans volgens de interpretatie die Averroës van zijn stelsel gegeven had, de persoonlijke verantwoordelijkheid van den mens voor zijn handelingen op aarde had opgeheven - hij zou het bestaan van individuele zielen hebben ontkend en alle geestelijk leven hebben beschouwd als uiting van een enkel, alle persoonlijke bewustzijnen omvattende intelligentie - scheen ook in ethisch opzicht het Aristotelisme veel verder van het Christendom af te staan dan de Platonische leer, die inhield, dat van den mens na zijn dood rekenschap zal worden gevraagd over zijn aardse leven en dat hem straf kan worden opgelegd voor wat hij daarin misdaan heeft.

De receptie van Aristoteles in de Latijnse Christenheid heeft zich dan ook niet zonder tegenstand van kerkelijke zijde voltrokken. Drie Pausen, Honorius III, Gregorius IX en Urbanus IV, hebben bepalingen uitgevaardigd, waardoor het onderwijs van de Aristotelische metaphysica òf geheel werd verboden òf aan sterke beperkingen werd onderworpen; er is heel wat strijd voor nodig geweest om dezen tegenstand te overwinnen en het inzicht te doen doordringen, dat de Kerk geen trouweren bondgenoot en hechteren steun kon vinden dan den Stagiriet.

37. Dat dit gelukt is, dat, wanneer de dertiende eeuw ten einde loopt, Aristoteles, inplaats van als een enigszins suspecte heidense philosoof beschouwd wordt als *praecursor Christi in naturalibus* (voorloper van Christus op natuurlijk gebied) en dat zijn gezag in wijsgerige en vakwetenschappelijke aangelegenheden even groot is geworden als dat van de Kerkvaders op theologisch gebied, is voornamelijk het werk geweest van leden van de orden der Franciscanen en Dominicanen, welke orden al spoedig na hun stichting in het begin van de dertiende eeuw een werkzaam aandeel in het intellectuele leven waren gaan nemen. Dat was helemaal niet de bedoeling geweest, waarmee zij in het leven waren geroepen en in de eerste jaren van hun bestaan is er dan ook telkens nog sprake van ordebesluiten, waardoor de beoefening der profane wetenschap verboden wordt. De grote geestelijke energie die in de orden leefde, liet zich echter niet beperken tot het pastorale en apologetische werk dat aanvankelijk het enige doelwit geweest was en al spoedig dragen zij, die als bedelorden begonnen waren, den naam van *ordines studentes* en nemen zij deel aan het leven van de eveneens jonge Universiteiten[2].

B. De Thomistische synthese en de natuurwetenschap[3]

38. De volbrenging van de grote taak, een synthese tot stand te brengen tussen de leer der Christelijke Kerk en de wijsbegeerte van Aristoteles, is vooral het werk geweest van drie denkers, den Engelsen Franciscaan

Alexander van Hales en twee Dominicanen, den Duitser Albert von Bollstädt, later algemeen bekend als Albertus Magnus, en den Italiaan Thomas van Aquino, later de H. Thomas. Het is hier niet de plaats uiteen te zetten, hoe zij daarin geslaagd zijn, hoe zij de gevaarlijke elementen die de leer van Aristoteles in de interpretatie van Averroës bezat, onschadelijk hebben weten te maken en hoe zij het volle licht hebben laten vallen op die bestanddelen die zich voor de wijsgerige fundering van het Christendom leenden. Het feit, dat zij dit tot stand hebben gebracht, kan echter in geen schets van de historische ontwikkeling der natuurwetenschap buiten beschouwing blijven, omdat het een diepgaanden invloed op haar lotgevallen heeft uitgeoefend.

De nauwe band immers die in het Aristotelische stelsel de natuurwetenschap met de wijsbegeerte verbond, werd, nu die wijsbegeerte zo innig met de theologie verwoven bleek te worden, tot een relatie tussen natuurwetenschap en theologie, die veel hechter was dan in de Patristiek of in de Platonische periode der Middeleeuwse wijsbegeerte ooit bestaan had. Toen had de natuurwetenschap zich zo lang onafhankelijk van de theologie kunnen handhaven en ontwikkelen als zij zich maar niet op theologisch terrein begaf. Thans echter was er feitelijk geen terrein meer dat niet onmiddellijk of middellijk onder de supervisie van de theologie kwam te staan: schijnbaar zuiver natuurwetenschappelijke aangelegenheden, astronomische kwesties, vragen over de beweging van vallende en voortgeworpen lichamen, de verklaring van luchtdrukverschijnselen raakten bijna steeds principiële punten van de Aristotelische wijsbegeerte, die tevens van fundamentele betekenis voor de theologie waren; de grensgebieden van natuurwetenschap en wijsbegeerte, waarop men de structuur van de stof en den bouw van het heelal onderzocht, stonden meer dan ooit in contact met de geloofsleer.

39. Het is duidelijk, dat hierdoor een eenheid van religieuse en intellectuele wereldbeschouwing, van geloof en wetenschap, tot stand werd gebracht, zoals nog nooit eerder verwezenlijkt was. Maar het springt evenzeer in het oog, welke gevaren voor geloof en wetenschap beide aan deze innige relatie verbonden waren. Toen de Kerk na het voltrekken der Thomistische synthese (men doet Alexander Halensis en Albertus Magnus geen onrecht, wanneer men haar speciaal naar Thomas noemt) het gehele Aristotelische systeem met haar gezag ging dekken, nam ze twee elementen van geheel verschillende waarde onder haar bescherming: een wijsbegeerte die, getuige den bloei van het neo-thomisme in onze dagen, door de eeuwen heen een grote schare van denkers intellectueel kan bevredigen, èn een natuurwetenschap die, welke ook haar mérites mogen zijn geweest in den tijd, waarin zij ontstond, bij de voortschrijdende ontwikkeling van het wetenschappelijk onderzoek op verscheidene essentiële punten onhoudbaar is gebleken. Dat de Kerk de eerste aanvaardde en als het ware heiligde kon haar nooit compromitteren; dat ze echter ook de tweede

sanctionneerde (sanctionneren *moest* wegens onverbrekelijken samenhang met de eerste) kon het des te meer en heeft het ook gedaan. Het hylemorphisme, dat een wijze is om over de natuur te denken, kon door de feiten nooit onmiddellijk en onbetwistbaar weerlegd worden: niemand heeft ooit experimenteel aangetoond, dat de lichamen niet uit vorm en materie bestaan; het geocentrische wereldbeeld, de vier-elementen-leer, de theorieën over val en worp, de grondstelling der dynamica en de ontkenning van het vacuum waren voor zulk een weerlegging echter maar al te vatbaar. Iedere slag die de ontdekking van natuurwetenschappelijke fouten aan het gezag van Aristoteles zou toebrengen, zou voortaan indirect de Kerk, die dat gezag met haar eigen autoriteit vereenzelvigd had, mede treffen.

Voor de natuurwetenschap dreigden geen geringere gevaren. Doordat aan beschouwingen van vakwetenschappelijken aard dadelijk consequenties verbonden waren die, door het medium van de Aristotelische wijsbegeerte heen, het geloof raakten, werden de natuuronderzoekers, die practisch allen tot den geestelijken stand behoorden, gemakkelijk in gewetensconflicten gebracht, die de onbevangenheid, welke zij voor hun wetenschappelijk werk behoefden, vernietigden. Het probleem van de relatie van geloof en wetenschap moet menigen middeleeuwsen denker ernstig hebben verontrust; het heeft hun vele beproevingen opgelegd en zij hebben het vaak langs gewrongen wegen moeten ontlopen. Het lijdt nauwelijks twijfel, dat door dit alles het doordringen van juistere inzichten in de natuur aanzienlijk is vertraagd.

40. Men kan zich gemakkelijk voorstellen, dat er in de dertiende eeuw ogenblikken zijn geweest, waarop beschouwingen als de bovenstaande, die door het verloop der geschiedenis hun volle bevestiging hebben verkregen, als ongegronde bezorgdheden zouden zijn afgewezen. Dat moet speciaal het geval zijn geweest, toen Thomas zijn twee grote *Summae*, de *Summa Theologica* en de *Summa contra Gentiles*, voltooid had. Onder den indruk van zijn harmonische persoonlijkheid en van het imposante karakter van zijn werk moet het wel geleken hebben, alsof theologie, wijsbegeerte en wetenschap zich nu verder in ongestoorde samenwerking zouden kunnen ontwikkelen, alsof de resultaten van het natuurwetenschappelijk onderzoek zich ongedwongen zouden laten inpassen in het algemene denkkader dat de wijsbegeerte gesteld had en alsof zij beide zouden kunnen bijdragen tot wat als uiteindelijk doel van alle geestelijk streven van den mens beschouwd werd: zoveel redelijke kennis van God verwerven als voor hem is weggelegd en Hem overigens op grond van de Openbaring lief hebben en dienen.

41. De subordinatie van het redelijk denken aan de *sacra doctrina*, de theologie, moet in dit verband ook als iets volkomen natuurlijks worden gezien: wanneer de philosophie *ancilla theologiae* (dienstmaagd van de theologie) heet, moet *ancilla* veeleer als eretitel worden opgevat, het recht

uitdrukkend, een zo hoge meesteres te mogen dienen, dan als aanduiding van minderwaardigheid. Wanneer de resultaten, waartoe de menselijke wijsheid meent te moeten komen, onderworpen blijven aan het oppertoezicht van de Kerk, moet dat niet als een hinderlijke belemmering worden beschouwd, maar als een heilzaam voorbehoedmiddel tegen dwalingen; een denker die zijn opvattingen door de geestelijke overheid ziet veroordelen, kan ze - althans in theorie - met dezelfde gemoedsrust laten varen als waarmee een lagere rechter een van het zijne afwijkend oordeel van een hogeren aanvaardt[3].

42. De indruk van orde en harmonie dien het Aristotelisch-Thomistische stelsel maakte, moest nog versterkt worden door de zuivere methodische scheiding die daarin tussen de domeinen van geloof en wetenschap in hun daadwerkelijke beoefening werd betracht en door de zelfstandige houding die ten aanzien van de autoriteit van den Stagiriet, zo niet in feite aangenomen dan toch in beginsel bedoeld werd. Thomas verklaart uitdrukkelijk, dat een beroep op menselijke autoriteit het zwakst denkbare argument is, zulks in tegenstelling tot een betoog dat op het gezag der goddelijke openbaring steunt[4]. Wanneer de Averroist Siger van Brabant het zijn doel noemt, vast te stellen, wat Aristoteles over een onderwerp geleerd heeft[5], stelt de Aquiner er tegenover, dat het niet de taak der wetenschap is, te onderzoeken wat mensen over iets gemeend hebben, maar hoe de dingen zich in werkelijkheid toedragen[6]. Men moet dan ook niet menen - dit tegenover de wijdverbreide opvatting, dat de wetenschap in het verleden reeds bestaan heeft en dat het er om gaat, haar terug te vinden - dat alle wijsheid reeds aanwezig is en dat het wetenschappelijk onderzoek haar ergens aan kan treffen[7]; het denken gaat langzamerhand voort door de gemeenschappelijke inspanning van alle beoefenaren der wetenschap; men moet daarom kennis nemen van de meningen der Ouden, echter niet in den waan, dat daarmee het laatste woord gesproken is, maar met de bedoeling, er uit te behouden wat juist is en het verkeerde te verwerpen; men is dank verschuldigd aan ieder, die de wetenschap vooruitgebracht heeft, maar ook aan hen die dwaalwegen hebben bewandeld, want ook uit dwalingen kan men lering trekken[8].

Thomas leeft in een zo rustig vertrouwen op de intrinsieke harmonie tussen geloof en wetenschap, dat hij er niets geen bezwaar tegen heeft, het redelijk denken op eigen terrein volkomen ongestoord zijn gang te laten gaan. Tegenover Siger's onbeschroomde aanvaarding van de mogelijkheid, dat iets wat hij door redelijk denken gevonden heeft, in strijd kan zijn met de geopenbaarde waarheid[9], stelt hij in een betoog[10] dat de R.K. Kerk tot in onzen tijd toe tot het hare maakt, dat zulk een conflict ondenkbaar is: wat als noodzakelijk wordt geconcludeerd is waar, het tegenovergestelde vals en onmogelijk; wie dus strijdigheid tussen een onbetwijfelbaar resultaat van de menselijke rede enerzijds en de Openbaring anderzijds aanneemt, spreekt daardoor twijfel aan de waarheid

der Openbaring uit, wat hij als katholiek niet doen kan. Hiermee is inderdaad aangetoond, dat een katholiek de bedoelde strijdigheid nooit zal kunnen vaststellen.

43. De harmonie tussen geloof en rede die hiermee gepostuleerd en voor den gelovige tevens gewaarborgd is, kon niet anders dan bevorderlijk lijken voor den bloei der wetenschap: de zekerheid des geloofs moest de activiteit van den onderzoekenden en denkenden mens aanwakkeren, het heilsverlangen zijn studielust prikkelen.

In volkomen tegenstelling tot de overheersende patristische opvatting betoogt Thomas dan in het begin van het tweede boek der *Summa contra Gentiles* ook de noodzaak van beoefening der natuurwetenschap[11]: zij ondersteunt de onderrichting in het geloof en helpt mee tot het uitroeien van dwalingen. De werken Gods openbaren Zijn wijsheid en macht. Bestudering van het geschapene zal daarom in den mens de liefde tot God versterken. Door de kennis der schepping wordt het beeld Gods in ons geperfectionneerd: wanneer wij, door het geloof verlicht, eerst God en daarna het geschapene naar waarheid kennen, wordt onze geest steeds meer tot een beeld van de goddelijke wijsheid. Wij zullen dan ook bewaard blijven voor dwalingen: wie het creatuurlijke in zijn eigen aard, d.w.z. in zijn wezenlijke afhankelijkheid heeft leren kennen, zal nooit in de fout vervallen, de Natuur met God te verwarren. Hij zal dus ook niet aan het geschapene toekennen wat slechts aan God toekomt, b.v. het vermogen om de toekomst te voorspellen, wonderen te verrichten of uit niets iets voort te brengen. Door de studie der natuur zal de mens zijn eigen positie in het heelal ook beter begrijpen, zodat hij geen meningen zal aanhangen die met zijn waardigheid in strijd zijn, b.v. de ziel voor sterfelijk houden, aan de sterren invloed op zijn wil toekennen of, als de heidenen, bevreesd zijn voor hemeltekens. Het is dan ook onjuist te menen dat het er niet op aankomt wat iemand van de schepping denkt wanneer hij slechts juist denkt over God: dwaling over de schepping loopt uit op valse voorstellingen over God en trekt den geest van Hem af. De H. Schrift vermaant zelf tot studie van de werken Gods en tot mededeling van de daarbij verkregen resultaten (Jesus Sirach 42:15). En uit de Psalmist niet zelfs bedreigingen tegen hen, die geen acht willen slaan op het werk van 's Heren handen? (Ps. 27:5).

Men ziet: hier wordt niet een stichtelijke natuurbeschouwing verlangd, maar een wetenschappelijk natuuronderzoek, dat het bijgeloof zal helpen uitroeien, de diepere opvatting der geloofswaarheden zal bevorderen en den Christen tot hun verdediging in staat zal stellen.

44. Wie deze opvattingen over de positie der natuurwetenschap in het geestelijk leven van den mens beschouwt in het ideale licht dat hen in den helderen en ruimen geest van Thomas omgeeft en er niet te veel aan denkt, in hoeverre zij in de practijk der middeleeuwse wetenschapsbeoefening verwerkelijkt zijn, zal niet kunnen nalaten, de hoogheid ervan

te erkennen. Er wordt hier een doel nagestreefd, dat wellicht ver boven het voor den mens bereikbare uitgaat, maar waarvan men zeker niet zal kunnen zeggen, dat het hem onwaardig is. Thomas zou zich nooit tevreden hebben kunnen stellen met een natuurwetenschap die verklaart, niet verder te kunnen komen dan tot een zo exact mogelijke beschrijving van de inrichting en de werkingswijze der natuur en die daarom de vraag naar den zin van haar bestaan en haar wording als niet vatbaar voor beantwoording ter zijde schuift of als schijnprobleem verwerpt; evenmin zou hij bevredigd zijn geweest door het ideaal van een bloot-technische beheersing der natuurkrachten. Het doel dat hem voor ogen zweeft, is wijsheid, inzicht in zin en doel van leven en schepping met Godskennis als uiteindelijk ideaal.

45. Wanneer men de geestelijke atmospheer beschouwt die door denkbeelden als deze geschapen wordt en zich daarbij laat doordringen van de hoge waardering die Thomas voor de vermogens van het menselijk intellect bezit - leert hij niet, dat de rede, al is het ook langs gevaarlijke wegen, evengoed tot God kan leiden als het gevoel van den mysticus? - kan men zich geneigd voelen tot verwondering, dat niet reeds de dertiende eeuw een sterken opbloei der natuurwetenschap gebracht heeft. Temeer omdat de suprematie die het Aristotelische denken over het Platonische had verkregen, de waardering voor de zinlijke ervaring aanzienlijk moest doen stijgen. De Aristotelisch-Thomistische kentheorie is uitgesproken sensualistisch: al onze kennis stamt uit de tijdens dit leven met behulp van de zintuigen opgedane ervaring en er wordt geen plaats meer ingeruimd aan aangeboren of uit een vroeger leven bewaard gebleven inzichten. Men kan dan ook tal van uitlatingen aanhalen waaruit het principieel empirische standpunt van de nieuwe denkrichting blijkt. Men vindt ze bij Thomas zelf, maar in nog hogere mate bij zijn voorganger en leermeester Albertus Magnus, die gedurende zijn gehele lange leven noch tijd noch moeite noch kosten heeft gespaard om empirisch feitenmateriaal voor de studie der natuur te verzamelen en die ook alles heeft gedaan wat hij kon om die studie te bevorderen.

46. Daar in de negentiende eeuw de Middeleeuwen niet zelden zijn voorgesteld als een periode waarin men op grond van vooropgestelde meningen de kennis der natuurverschijnselen deductief meende te kunnen afleiden en daar deze opvatting, hoewel door de feiten reeds lang weerlegd, vaak nog niet uitgestorven blijkt te zijn, kan het de moeite lonen, hier enkele van Albert's beginselverklaringen over doel en methode der natuurwetenschap aan te halen[12]:

Wij hebben in de natuurwetenschap niet te onderzoeken hoe God de Maker naar Zijn vrijen wil het door hem geschapene gebruikt voor een wonder, waardoor Hij Zijn macht toont, maar veeleer wat in de natuurdingen op grond van de in de natuur gelegen oorzaken kan gebeuren.

De natuurwetenschap bestaat niet daarin, dat men eenvoudigweg

gelooft wat verteld wordt, maar dat men de oorzaken der natuurduigen naspoort.

Een conclusie die met het getuigenis der zinnen in strijd is, kan niet worden geloofd; een beginsel dat met de zintuiglijk verworven ervaring niet overeenstemt, is geen beginsel maar veeleer het tegendeel ervan.

Men moet het onderzoek der natuur laten doordringen tot in de individuele dingen; kennis van de naturen der dingen in het algemeen is nog slechts een kennen in aanleg.

Er is veel tijd nodig om een experiment zo in te richten, dat het in geen enkel opzicht te kort schiet; men moet namelijk niet slechts op één wijze experimenteren, maar het onder alle mogelijke omstandigheden doen, om een zekeren grondslag voor het werk te vinden.

Het bewijs door zintuiglijke ervaring is in de natuurwetenschap het allerzekerste en staat hoger dan een redenering zonder proefneming.

En steeds weer herhaalt hij zijn lijfspreuk: *fui et vidi experiri* (ik ben er bij geweest en heb gezien dat het gebeurde).

47. En toch! Ondanks al deze schijnbaar zo gunstige omstandigheden is van een vooruitgang van de natuurwetenschap in de dertiende eeuw niet veel te bespeuren. Er waren dus blijkbaar ook factoren werkzaam die een tegengestelden invloed uitoefenden en het in sterkte van de andere wonnen. Wij trachten er enkele aan te wijzen:

1) Zintuiglijke ervaring, die niet kritisch wordt beschouwd en niet door instrumentele hulpmiddelen wordt ondersteund en gecorrigeerd, levert nog lang geen voldoende basis voor natuurwetenschappelijke begripsvorming. Men mag een hoge kentheoretische waardering voor het zintuiglijke niet verwarren met een empirische, laat staan met een experimentele instelling ten opzichte van de natuur. Wanneer men ernst was blijven maken met het beginsel, dat een conclusie als ongeloofwaardig moet worden verworpen wanneer zij met het getuigenis der zinnen strijdt, zou de natuurwetenschap het niet ver gebracht hebben en zou ze met name nooit losgekomen zijn van de overtuiging, dat de aarde in rust is in het middelpunt van de wereld. De beoefening der natuurwetenschap vereist ongetwijfeld het gebruik der zinnen, maar tevens een methodisch wantrouwen in wat zij schijnen te leren; men moet doordrongen blijven van de waarheid, die Mach formuleert in de woorden: die Sinne lügen nicht; sie sagen nur nicht die Wahrheit.

2) Wij hebben reeds eerder gezien, hoezeer Aristoteles en met hem de gehele Griekse physica op dwaalwegen verkeerde ten gevolge van een onderschatting van de aan de studie der natuur onverbrekelijk verbonden moeilijkheden. De onbegrensde verering die hij nu in West-Europa genoot, maakte het ook voor hen die in beginsel onafhankelijk wilden zijn van zijn autoriteit, uiterst moeilijk, die dwaalwegen te vermijden. En dit des te meer omdat het niet om details, maar om de natuurwetenschappelijke fundamenten van het gehele stelsel ging.

3) Het middeleeuwse onderwijs, geheel ingesteld op de studie van klassieke auteurs, op het aankweken van ontzag voor hun autoriteit en op het tegengaan van een geest van twijfel en kritiek, was weinig bevorderlijk voor het ontstaan van een geest van onbevangen natuuronderzoek. Door de sterk overheersende positie die het polemisch dispuut er in innam, had het voorts altijd de strekking, zich te verliezen in de onvermijdelijke uitwassen van iedere discussie: sophistiek en eristiek.

4) De meningen van prominente geesten als Albertus Magnus en Thomas zijn niet representatief voor het geestelijk peil van de grote massa der dertiende-eeuwse geleerden, voor wat Roger Bacon het *vulgus studentium* pleegt te noemen.

5) De intellectuele strevingen die in den loop van de dertiende eeuw in de bedelorden tot ontwikkeling kwamen, ondervonden onder de meer conservatieve leden dier orden zelf veel kritiek en verzet. De opvatting, dat weetgierigheid aangaande de natuur in het geheel niet bevorderlijk is voor het zieleheil van den Christen was nooit uitgestorven en vond telkens weer nieuwe uiting. Er bestaat een tekenend verhaal over een mededeling van Albertus Magnus aan Thomas van Cantimpré, dat hij in Parijs bezocht was door den Satan in de gedaante van een Dominicaan, die hem had willen afbrengen van zijn liefhebberij, altijd de natuur te bestuderen[13]; men behoeft er niet aan te twijfelen, dat de bezoeker een echt lid van Albert's orde geweest is, wiens betoog hij als duivelse inblazing beschouwde. En het is niet minder veelzeggend, dat hij zich in afwijking van zijn gewoonlijk onpersoonlijken betoogtrant laat verleiden tot de volgende ontboezeming over zijn eigen orde: ‘Er zijn onwetenden die op alle mogelijke wijzen de beoefening der philosophie willen bestrijden en wel vooral in de orde der Predikheren, waar niemand zich tegen hen verzet, wanneer ze als stomme dieren te keer gaan tegen dingen, die ze niet begrijpen.’[14]

6) En ten slotte de zwaarstwegende factor van alle: de intrinsieke moeilijkheden die aan het verwerven van een juist inzicht in een doeltreffende methode der natuurwetenschap eigen zijn geweest en waarover we in II: 21-24 reeds uitvoerig hebben gesproken.

48. Hoe onoverkomelijk al deze moeilijkheden die ten dele, als voortkomend uit de tijdsomstandigheden, een accidenteel karakter dragen, maar die voor een ander zeer belangrijk deel essentieel van aard zijn, voor de beoefening der natuurwetenschap in de dertiende eeuw geweest zijn, kan niet duidelijker worden aangetoond dan door de beschouwing van een wetenschappelijke figuur uit dien tijd die nog veel klemmender en welsprekender dan Albert en Thomas de studie der natuur als onmisbaar bestanddeel van een redelijk gefundeerde, maar tevens theocentrisch georiënteerde wereldbeschouwing heeft aangeprezen, die zich in nog veel hogere mate dan zij vrij achtte van beïnvloeding door autoriteiten en wiens uitlatingen dan ook nog een veel meer uitgesproken echt natuurweten-

schappelijk karakter schijnen te dragen, en die er niettemin ook niet in geslaagd is, aan de natuurwetenschap den impuls te geven die haar op een wezenlijk hoger niveau zou heffen dan waarop de Grieken haar hadden achtergelaten. We bedoelen den Engelsen Franciscaan Roger Bacon, aan wien we thans enkele beschouwingen zullen wijden.

C. Roger Bacon[15]

49. Een merkwaardige en veel omstreden figuur, waarvan het des te moeilijker valt, een juisten indruk te krijgen, omdat zijn beeld zo vaak tendentieus vertekend is. Zonder enige moeite kan men uit zijn werken een bloemlezing van uitlatingen samenstellen, waarin hij zich als scherp criticus van het gehele middeleeuwse wetenschapsbedrijf, als voorvechter van een mathematisch-empirische natuurwetenschap en als wegbereider van de vernieuwing van het denken over de natuur in de zestiende en zeventiende eeuw doet kennen. Een conflict met de leiding van zijn orde, dat hem een jarenlange gevangenschap berokkende en hem de gelegenheid tot wetenschappelijke werkzaamheid ontnam, verschaft hem in veler oog een plaats onder de martelaren der wetenschap. Onder een anderen gezichtshoek bekeken is hij echter volop middeleeuwer: hij is het in zijn opvattingen over de absoluut-centrale plaats van de theologie in het geestelijk leven, in zijn kosmologische denkbeelden en in zijn onmacht, zich voldoende aan den invloed van het Aristotelisme te onttrekken om tot een zelfstandigen kijk op de anorganische natuur te komen.

50. Tussen deze beide zijden van zijn figuur bestaat slechts zolang een onverzoenlijk contrast, als men vasthoudt aan de gewoonte, iedere gedachte over wetenschapsbeoefening waarmee een hedendaags physicus kan instemmen, als essentieel on-middeleeuws te beschouwen en in het bijzonder ieder besef van de waarde die de wiskundige en empirische methoden voor de physica bezitten, te zien als een verdienste die nooit eigen zou kunnen zijn aan het scholastieke denken en die dus haar bezitter stempelt tot een te vroeg geboren en in een niet-begrijpend milieu tot onvruchtbaarheid gedoemden eenling. Dat is echter geen billijke wijze van beoordeling: het gaat niet aan, het toenmalige denken alleen aan te klagen om alles waarin het het ontstaan der natuurwetenschap heeft belemmerd of vertraagd en niet tevens de vruchtbare denkbeelden waartoe het gekomen is, op de creditzijde te willen boeken. Men onderschat zodoende de verscheidenheid van het geestelijk leven der Middeleeuwen, waarin zich tegen den gemeenschappelijken achtergrond van een theocentrisch-Christelijke wereldbeschouwing een levendige strijd heeft afgespeeld over alle punten - en het waren er vele - waarover men in deze gemeenschappelijke spheer nog van mening kon verschillen.

51. Eén ding kan voorop worden gesteld: evenmin als een van zijn tijdgenoten heeft Roger Bacon de wiskunde of de natuurwetenschap verrijkt met een bijdrage van wezenlijke betekenis. Hij heeft zich bezig gehouden met optica, meteorologie, luchtdrukverschijnselen en alchemie; hij heeft de kennis daaromtrent, die hij uit Arabische bronnen had geput of van zijn leermeester Robert Grosseteste en anderen had overgenomen, geconserveerd, maar niet vermeerderd. Men heeft lang gemeend, hem een grotere betekenis te mogen toekennen, omdat hij zich graag laat gaan in phantasieën over wat de hem voor den geest zwevende mathematisch-empirische natuurwetenschap eenmaal tot stand zal brengen[16] en omdat hier veel bij is (telescopen, automobielen, vliegtuigen en luchtschepen) dat zij inderdaad tot stand gebracht heeft. Echter is de feitelijke betekenis van het hebben en meedelen van wensdromen als deze (die de mens van de oudste tijden af gedroomd heeft) zonder het aangeven van een althans in beginsel deugdelijk middel om ze te verwezenlijken, voor de ontwikkeling der natuurwetenschap uiterst gering. Wie op dezen grond voor Bacon een plaats in de wetenschapsgeschiedenis opeist, moet er ook een inruimen voor Daidalos en voor Jules Verne.

52. Wanneer Bacon die plaats echter toch verdient, dan doet hij dat om een heel andere reden, nl. om de kritiek die hij op de gangbare wetenschapsbeoefening van zijn tijd heeft uitgeoefend en om de denkbeelden die hij over de verbetering van haar methode heeft ontwikkeld. Die kritiek is menigmaal verrassend juist en de methoden die hij aanbeveelt hebben inderdaad enkele eeuwen later tot grote resultaten geleid.

Dat hij zelf wel eens vervalt in de fouten die hij bij zijn tijdgenoten aanwijst en dat hij niet in staat blijkt, door toepassing van de aanbevolen werkwijzen zelf een noemenswaarden vooruitgang te bewerken, moge aan de betekenis van zijn optreden iets afdoen, het behoeft er niet toe te leiden, dat men ook hier slechts toekomstdromen ziet, die toevallig en buiten zijn toedoen om later werkelijkheid zijn geworden. Kritiek op de methode en voorstellen tot verbetering daarvan gaan aan de vernieuwing van het natuuronderzoek vooraf; wie die kritiek uitoefent en die voorstellen formuleert werkt in een gans anderen zin aan de ontwikkeling der natuurwetenschap mee dan wie zich vermeit in phantasieën over haar mogelijke resultaten.

De kritische beschouwing die Bacon aan de wetenschapsbeoefening van zijn dagen wijdt, is samen te vatten in een opsomming van de *offendicula*, de belemmeringen voor de ontwikkeling van het denken, waarmee hij zijn hoofdwerk, het *Opus maius*, opent[17] en van de zes zonden in de studie der theologie die hij in zijn *Opus minus* aanwijst[18]. De eerste groep omvat:

1) het ontzag voor een twijfelachtige en daardoor reeds onwaardige autoriteit.
2) het vasthouden aan een gevestigde traditie.

3) het waarde hechten aan populaire vooroordelen.
4) het verdoezelen van onwetendheid onder een schijn van geleerdheid.

Van de tweede groep moeten vooral worden genoemd:
1) de overheersende positie van de philosophie in de studie der theologie en de overschatting van de betekenis van vakken als logica en dialectica.
2) de onwetendheid van de theologen op het gebied van talen en natuurwetenschap.
3) de corrupte toestand van den Vulgaat-tekst en van de vertalingen van Aristoteles.

53. De kritiek die hij op al deze misstanden levert, wordt op de meest onhoffelijke wijze ingekleed. Bacon gaat zich te buiten aan minachtende schimpscheuten aan het adres niet alleen van de grote massa der geleerden, het vulgus studentium, maar ook van prominente auteurs als Alexander van Hales, Albertus Magnus en Thomas van Aquino. Zijn oordeel is vaak onbillijk (zo schijnen de gangbare vertalingen lang niet zo slecht te zijn geweest als hij voorgeeft[19]) en overdreven (zoals zijn verzuchting dat het beter zou zijn geweest als Aristoteles nooit vertaald was dan zoals het gedaan is[20]), maar bovendien niet zelden evengoed op hem zelf van toepassing als op hen waartegen het zich richt, zoals wanneer hij zijn strijd tegen het steunen op autoriteit voert door zich zelf op autoriteiten te beroepen[21] of waar hij in lichtgelovigheid voor zijn tijdgenoten niet onder blijkt te doen en haar als geesteshouding zelfs min of meer tot een systeem verheft[22]. En ten slotte wordt het betoog menigmaal ontsierd door een weinig smaakvolle zelfverheffing, die zich o.m. openbaart in een overschatting van de mate van oorspronkelijkheid van zijn denkbeelden[23].

Ziet men echter van al deze storende bijomstandigheden af, dan valt niet te ontkennen - en ook de tijdgenoten zullen, als ze hun ergernis over den vorm waarin hun de waarheid gezegd werd, konden overwinnen, dat niet hebben kunnen doen - dat de zwakke zijden van de wijze, waarop de wetenschap in de Middeleeuwen beoefend werd, hier in een allerhelderst daglicht worden gesteld. Daardoor werd echter indirect in uitlatingen, die in hun aphoristische welsprekendheid reeds de gedachte opwekken aan beroemde woorden van zijn drie eeuwen jongeren naamgenoot Francis Bacon[24] een klemmend pleidooi voor een vernieuwing van het wetenschappelijk denken geleverd.

54. Hoe volkomen Bacon nu echter bij dit alles een getrouw volgeling van de fundamentele denkwijze van zijn tijd blijft en hoe ongemotiveerd dus de pogingen zijn, een principiële tegenstelling tussen hem en zijn historische omgeving te construeren, blijkt uit de herhaalde en nadrukkelijke formulering van het doel dat hij met al zijn kritiek nastreeft en dat tevens de verklaring inhoudt van zijn levendige belangstelling in de organisatie van de universitaire studie in de theologie. Alle natuurwetenschap en alle philosophie staan namelijk ook volgens hem uiteindelijk in

dienst van de theologie[25] en men moet dus bij de bespreking van de wijze waarop zij moeten worden beoefend en onderwezen, altijd in de eerste plaats het oog gericht houden op het nut dat zij voor God's Kerk, voor de interpretatie van de H. Schrift, voor de bekering van ongelovigen en voor de bestrijding van hen die voor die bekering niet vatbaar zijn gebleken, afwerpen.

Het is vooral de bijdrage die zij tot de interpretatie van de H. Schrift kan leveren, waarop de waarde der natuurwetenschap steunt. Geheel in overeenstemming met Augustinus, van wien hij in alle opzichten een getrouw, zelfs fervent volgeling is, is hij namelijk overtuigd, dat in den Bijbel alle wetenschap ligt opgesloten, zodat zij ook over de natuur meer kan leren dan menselijke wijsheid ooit uit eigen kracht aan het licht zal brengen. Maar in haar uitspraken ligt de waarheid niet voor het grijpen, men kan haar eerst door allegorische interpretatie van het Bijbelverhaal op het spoor komen. Om deze te kunnen geven behoort een theoloog natuurwetenschappelijk ontwikkeld te zijn, terwijl hij philologische scholing behoeft om den oorspronkelijken tekst te kunnen lezen.[26].

Naast deze geheel op het godsdienstige gerichte opvatting van menselijke wetenschap staat nu echter op andere plaatsen een meer werelds georiënteerde. Beoefening van wijsbegeerte of vakwetenschap zuiver ter wille van het denken is nutteloos en schadelijk, leidt tot infernale verblinding. Voorzover de wetenschap niet nuttig is voor de theologie moet ze het voor het menselijk leven zijn. De belangrijkste van alle is daarom de alchemie, die middelen verschaft om het leven te verlengen; veel is verder te verwachten van een landbouwwetenscháp op experimentelen grondslag[27].

55. Onder de talrijke en uitvoerige beschouwingen die Bacon aan de wetenschappelijke methode wijdt, trekken zijn vurige pleidooien voor de toepassing van het experiment en de wiskundige behandeling wel het meest de aandacht van den hedendaagsen lezer. Hij voert een afzonderlijke *Scientia Experimentalis* in[28], die in het wetenschappelijk bedrijf de hoogste plaats na de Sacra Doctrina in zal moeten nemen. Zij zal tot taak hebben, de resultaten van alle andere wetenschappen, die deze deels langs zuiver speculatieven weg, deels uit onvolledige ervaring hebben verworven, op de proef te stellen; eerst daardoor zal de geest tot volstrekte zekerheid komen. Daarnaast zal zij echter ook zelfstandig werkzaam zijn en dingen voortbrengen die andere wetenschappen weliswaar najagen, maar niet kunnen verwezenlijken; als voorbeeld wordt het middel genoemd dat het leven zal verlengen en de kwalen van den ouden dag zal verlichten[29] of het langs natuurlijken weg in beweging brengen en houden van een door een wiskundige geconstrueerd astrolabium[30]. Zij zal bovendien de andere wetenschappen stimuleren door er bepaalde opdrachten aan te geven; zo zal ze van de wiskunde vragen, een brandglas te construeren dat op groten afstand brand zal kunnen stichten in een vijandelijk leger[31].

Er blijkt niets van, dat Bacon met deze Scientia Experimentalis ooit een werkelijk resultaat heeft bereikt; hij stelt als toepassing ervan weliswaar een verklaring van den regenboog in het vooruitzicht, maar komt daarbij niet verder dan de meteorologie van zijn tijd reeds gevorderd was[32].

56. Men moet, in de Middeleeuwse literatuur in het algemeen en in de werken van Roger Bacon in het bijzonder, voorzichtig zijn met den term *experientia* en er evenmin als onder den gewoonlijk als synoniem daarmee gebezigden term *experimentum* steeds de betekenis aan hechten, die het woord experiment in onzen tijd bezit, nl. die van een onder opzettelijk gekozen omstandigheden zoveel mogelijk geïsoleerd verlopend natuurverschijnsel. Experientia en experimentum beduiden in den regel niet veel meer dan ervaring, ondervinding, waar ook en hoe dan ook verworven en opgedaan, of iets dat men op deze wijze verkregen heeft. Daarbij kan dan van een instrument gebruik zijn gemaakt maar noodzakelijk is dit geenszins. Men krijgt den indruk, dat Bacon voor aardse doeleinden de niet instrumenteel ondersteunde en niet speciaal geoefende zintuigen volkomen toereikend acht[33].

Verder is het van belang op te merken, dat Bacon uitdrukkelijk twee betekenissen van den term *experientia* onderscheidt, de menselijke of philosophische, die op zinlijke ervaring berust en kennis levert aangaande aardse objecten, en de inwendige illuminatie, die door goddelijk ingrijpen tot stand komt en die zowel op het stoffelijke als op het geestelijke betrekking kan hebben. Langs dezen weg hebben bijvoorbeeld de patriarchen en propheten hun kennis van natuur en mensenwereld verworven, die wij met al onze menselijke inspanning nog steeds niet hebben kunnen evenaren[34].

57. Bacon gaat uitvoerig op die inwendige illuminatie in, waarbij hij zeven trappen onderscheidt, variërend van de zuiver wetenschappelijke ingeving tot de uiterste geestvervoering. Deze denkbeelden hangen samen met de in zijn tijd brandende strijdvraag naar de interpretatie van het Aristotelische begrip *intellectus agens*, waaronder Thomas een eigen specifieke werking van het menselijk intellect in de kendaad verstaat (actieve verstandskracht), terwijl Averroës er bij denkt aan een universeel intellect, waaraan de individuele mens in zijn denken in meerdere of mindere mate deel heeft. Bacon, Augustinus volgend, neemt een directe illuminatie van den menselijken geest door God aan; primair is het intellectus agens God zelf, secundair zijn het de engelen, die onzen geest verlichten[35].

58. De beschouwingen die Bacon aan de experientia wijdt, hangen ten nauwste samen met zijn standpunt ten aanzien van de astrologie, de alchemie en de magie, die voor hem, zoals voor al zijn tijdgenoten, volkomen reële, zij het dan ook niet alle drie voor den Christen even geoorloofde wetenschappen zijn. Hij verwacht van de Scientia Experimentalis, dat deze hen zal zuiveren van het vele bedrog en de vele dwalingen die er in

voorkomen en hen op den goeden weg tot de ervan te verwachten resultaten zal leiden, tot betere toekomstvoorspellingen, tot beter goud en tot werkzamere magische kunsten.

Opnieuw blijkt, wat men in de middeleeuwse literatuur zo vaak kan vaststellen, dat men, als men den term experientia of experimentum ontmoet, altijd dicht bij de spheer van het occulte is. Een werk dat *Experimentarius* heet, behandelt bijvoorbeeld de verschillende vormen van mantiek; een *Liber experimentorum* is een verzameling van medische recepten die op de proef gesteld heten te zijn; bij Willem van Auvergne heet Indië een land van vele experimentatoren, omdat de magie er zo bloeit[36]. Een experientia is gewoonlijk een sterk magisch getint recept; wat Bacon experimentele astronomie noemt, blijkt niets anders te zijn dan astrologie[37]. Een experiment lijkt evenmin op een natuurwetenschappelijke proefneming als men onder een mathematicus (= astroloog) een wiskundige mag verstaan.

Wat is nu dus, ten slotte, de Scientia Experimentalis? Hoe meer men er Bacon over hoort spreken, des te minder voelt men zich in staat, het met zekerheid te zeggen. Eén ding staat wel vast: het is iets gans anders dan de experimentele methode van natuuronderzoek. Zij heet ook wel scientia secretorum experimentorum of ars experimentalis en is dus blijkbaar meer een kunst of techniek met sterk occulten inslag dan een werkzaamheid die zich geheel in het redelijke wil houden. Zij beschikt over een experientia perfecta, die zowel de redeneringen der zuiver speculatieve als de gebrekkige ervaring der operatieve wetenschappen in waarde overtreft.

Bacon spreekt over de Scientia Experimentalis niet als over een toekomstideaal: evenals alle menselijke kennis en vermogens bestaat zij reeds; het is de taak der geleerden haar op te sporen. Er zijn zekere Tartaarse volkeren die haar reeds beheersen; zij zijn de voorboden van den Antichrist die er ook in zal uitmunten. Daarom is het voor de Christenen zaak, er eveneens in bedreven te zijn; zij zal hun groot materieel voordeel brengen, maar tevens bevorderlijk zijn voor de verwezenlijking van hun religieuse doeleinden. Er is een tijdgenoot die haar reeds bezit. Bacon betitelt hem als den *dominus experimentorum* en geeft hoog op van zijn wonderbaarlijke prestaties op optisch, medisch, alchemistisch en astrologisch gebied. Hij zou, indien hij dit wenste, eer en rijkdom in overvloed kunnen verwerven, maar hij geeft er de voorkeur aan, zijn kunst te perfectionneren en spaart moeite noch kosten om dat te bereiken[38]. Het is niet onmogelijk, dat hij in deze beschrijving den man bedoelt, dien hij elders magister Petrus noemt en waarschijnlijk, dat deze laatste identiek is met Pierre de Maricourt, den auteur van een werkje over magnetisme, waarover we in II: 79 meer zullen vernemen.

59. Naast Bacon's gewoonlijk hartstochtelijk gevoerde pleidooi voor de Scientia Experimentalis hebben van oudsher de passages, waarin hij de wiskunde als onmisbaar hulpmiddel van de natuurwetenschap roemt,

de aandacht getrokken. Het is niet onmiddellijk duidelijk, wat hij daarmee bedoelt. Wil hij nog eens nadrukkelijk vaststellen, dat die takken der natuurwetenschap die bij de Grieken tot bloei waren gekomen - mechanica, astronomie, optica - alle met hulp van de wiskunde behandeld werden of spreekt hij een vermoeden uit over het profijt, dat de physica in het algemeen om te kunnen gedijen van de wiskunde zal moeten leren trekken? Slaat hij een blik in het verleden naar Archimedes en Ptolemaios of ziet hij in de toekomst naar Galilei, Kepler, Huygens en Newton?

Waarschijnlijk noch het een noch het ander. Wij zullen veeleer moeten denken aan een onderwerp, dat hij door zijn leermeester Grosseteste had leren kennen en waaraan deze reeds in denzelfden zin als hij beschouwingen gewijd had. Daar dit onderwerp, de voortplanting van een species, echter niet speciaal op Bacon betrekking heeft, zullen wij er op terugkomen, waar het in algemeen verband, namelijk bij de behandeling van de optica, ter sprake komt (II: 72).

60. Het zal intussen al wel duidelijk zijn geworden, dat Bacon inderdaad de illustratie verschaft die we van hem vroegen en ter wille waarvan wij hem een afzonderlijke behandeling hebben gewijd: hij demonstreert ten volle de uitzonderlijke moeilijkheden die in de dertiende eeuw in verband met de heersende geestelijke atmospheer aan de ontwikkeling van de natuurwetenschap verbonden waren. Wanneer iemand als hij, die zich een kritische gezindheid ten aanzien van die atmospheer als het ware tot plicht maakt en daaraan op de meest onomwonden wijze uiting geeft, zozeer in haar bevangen blijkt te blijven, dat hij zich door geen enkele positieve wetenschappelijke prestatie van zijn minder opstandige tijdgenoten onderscheidt, dan krijgt men wel een heel duidelijk besef van de onontkoombaarheid van de langdurige worsteling die het natuurwetenschappelijk denken zou moeten aangaan om zich uit de kluisters waarin het nog gevangen lag, te bevrijden.

61. Er is echter nog een punt, Bacon betreffende, waaraan wij aandacht moeten wijden, namelijk de gevangenisstraf, die hem door de leiding van zijn orde is opgelegd en die hem gedurende de laatste jaren van zijn leven tot zwijgen genoopt heeft. We spreken daar niet zozeer over uit biographische belangstelling (die we in dit boek in verband met de plaatsruimte overal hebben moeten onderdrukken) dan wel om na te gaan, of we hier reeds te maken hebben met een van die conflicten tussen geloof en wetenschap die om boven beschreven redenen wel niet uit konden blijven.

De feiten, zoals ze worden meegedeeld in de uit 1370 daterende *Chronica* XXIV *Generalium*[39] (een geschrift, waarvan de bewijskracht wel eens in twijfel is getrokken[40], maar dat nu eenmaal de enige bron is, waarover de Bacon-biographie op dit punt beschikt) zijn de volgende:

De Generaal der Orde, Frater Hieronymus (Jerôme van Ascoli) heeft na beraad met verscheidene broeders de leer van Roger Bacon afgekeurd

en veroordeeld wegens zekere suspecte nieuwigheden, op grond waarvan Bacon zelf tot gevangenisstraf is veroordeeld, terwijl alle broeders vermaand zijn, deze leer niet aan te hangen.

Er zijn natuurlijk allerlei gissingen gemaakt wat wel de suspecte nieuwigheden zijn geweest, die de leiding van de Orde aanleiding hebben kunnen geven, zo streng tegen een reeds beroemd geworden broeder op te treden. Onder meer heeft men daarbij ook wel het vermoeden geopperd, dat Bacon's beoefening der natuurwetenschap het eigenlijke motief zou zijn geweest. Het is echter tegenwoordig wel als uitgesloten te beschouwen dat dit juist zou zijn. Reeds het simpele feit, dat Bacon's denkbeelden op dit punt grotendeels reeds voor hem waren uitgesproken door zijn leermeester Robert Grosseteste, bisschop van Lincoln, die een steunpilaar der Kerk was, zonder dat uit iets blijkt, dat daartegen van de zijde der kerkelijke overheid enige oppositie zou zijn gevoerd, maakt het onwaarschijnlijk. Bovendien is de optica - en dit is het gebied waarop zijn werkzaamheid als physicus zich voornamelijk uitstrekte - in de dertiende eeuw met voorliefde door tal van geleerden beoefend - we noemen Witelo, Dietrich van Freiberg en Peckham - zonder dat ooit enige verdenking tegen hun rechtzinnigheid gerezen is: waarbij nog te overwegen valt, dat het zelfs voor den meest wantrouwenden theoloog wel heel moeilijk zou zijn geweest, juist in dit onderwerp iets te vinden dat aanstotelijk kon zijn voor het geloof.

Het is natuurlijk mogelijk, dat de argwaan dien Bacon blijkbaar bij zijn superieuren heeft opgewekt, het gevolg is geweest van zijn bemoeiingen op het gebied van de occulte wetenschappen; dit zou dan speciaal de magie hebben moeten zijn, die voor Christenen verboden was, omdat ze alleen met behulp van daemonen beoefend kon worden. Het is dan echter niet duidelijk, dat er van een doctrina sprake heeft kunnen zijn, daar het in de magie meer om bepaalde practijken te doen was.

Ten slotte zou de toedracht ook deze hebben kunnen zijn, dat de eigenlijke aanleiding tot het ingrijpen van den Generaal gelegen is geweest in Bacon's inderdaad de perken te buiten gaande optreden tegen de grootste figuren niet alleen van de orde der Dominicanen, maar ook tegen die van de Franciscanen (*Nullum ordinem excludo*[41]; ik sluit geen enkele orde uit, zegt hij triomphantelijk). Het eerste zou hem, gezien de telkens weer opvlammende rivaliteit tussen de beide orden wellicht niet zo zwaar zijn aangerekend, wanneer niet kort voor het jaar van zijn veroordeling (1277) een soort van pacificatie tussen de beide Generalen was gesloten, die door zijn optreden in gevaar kon worden gebracht. De wijze waarop hij echter ook tegen Alexander Halensis te keerging, kan echter wel den doorslag gegeven hebben. Heeft men wellicht om hem des te zekerder kunnen treffen, zijn werken kritisch nagespeurd, en daarin, wat bij een zo vurigen en heftig polemisch gezinden auteur wel niet moeilijk zal zijn gevallen, enkele niet geheel rechtzinnige wendingen aangetroffen? Ook dit verklaart

echter niet de strengheid van de opgelegde straf, waaronder hij vijftien jaar gezucht heeft. Men had immers een zwijggebod kunnen opleggen.

De gehele geschiedenis blijft dus duister en laat geen bepaalde conclusie toe over de houding die de Kerk in de dertiende eeuw ten aanzien van de natuurwetenschap heeft ingenomen.

D. Het vacuum[42]

62. De bespreking van het werk van Roger Bacon geeft een ongedwongen aanleiding om, een in de Oudheid losgelaten draad weer opvattend, iets te zeggen van de denkbeelden die in de Scholastiek over het al of niet bestaan van een vacuum en in verband daarmee over de pneumatische verschijnselen gehuldigd zijn. Daar er in deze denkbeelden in den loop der Middeleeuwen weinig evolutie valt op te merken, kan er geen bezwaar tegen zijn, ook de aan Bacon voorafgaande en de op hem volgende tijdvakken in het overzicht te betrekken.

Wij zagen boven (I: 45, 100) reeds, dat er bij de Grieken eigenlijk twee vacuum-kwesties bestonden, waarvan de ene op het makro-, de andere op het mikrovacuum betrekking had en ook, dat alle mogelijke combinaties van meningen over hun realiteit voorkwamen: de aanvaarding van beide door de Atomisten, beider verwerping door Aristoteles, de afwijzing van het mikrovacuum, gepaard aan het geloof in den makrovorm bij Poseidonios-Kleomedes, het tegenovergestelde standpunt bij de mechanici Philoon en Heroon. Tevens maakten wij reeds kennis met de voornaamste pneumatische verschijnselen die de overtuiging van de onmogelijkheid van een makrovacuum schenen te bekrachtigen.

63. Deze experimentele feiten blijken sterk de aandacht der Arabieren te hebben getrokken. Er wordt een werk vermeld van de drie in wiskunde, astronomie en werktuigkunde bedreven gebroeders, die als de Banû Mûsâ bekend staan, waarin meer dan honderd proeven werden beschreven, die alle zo verliepen dat het ontstaan van een vacuum kennelijk vermeden werd; dit zal wel een compilatie zijn geweest van wat bij verschillende Griekse auteurs over het onderwerp te vinden was. Omstreeks 1200 citeert de beroemde theoloog al-Gazzâlî, die wel als de Arabische evenknie van Thomas van Aquino betiteld wordt, nog steeds de proeven van Philoon en Heroon als argumenten tegen het vacuum. En ook Averroës blijkt er mee op de hoogte te zijn, al onthoudt hij zich er van, een uitdrukkelijke mening over het al of niet bestaan van een vacuum uit te spreken.

De Scholastiek heeft van haar eerste contact met de Arabische wetenschap af steeds een levendige belangstelling in het onderwerp aan den dag gelegd: het kopglas, de pipet in haar verschillende vormen (met name de cantaplora, een cylindrisch vat met stijgbuis, waarin in den bodem een

aantal kleine openingen waren aangebracht), de hevel, het zuigleertje en de twee tegen elkaar aangedrukte vlakke glazen platen werden telkens weer vermeld en behandeld. Ook verdiepte men zich met voorliefde in een meningsverschil tussen de Aristoteles-commentatoren Alexander van Aphrodisias en Themistios over de verklaring van het verschijnsel, dat in een van boven gesloten buis, waarin een brandende kaars is aangebracht en waarvan de open onderzijde onder water is gedompeld, na enigen tijd water opstijgt.

64. Er bestaat enige verscheidenheid in de terminologie, waardoor deze verschijnselen met het vacuum-probleem in verband werden gebracht: men constateerde soms een *fuga vacui* in de natuur (een vlucht voor het vacuum); de waargenomen effecten traden op *ne fieret vacuum* (opdat er geen vacuum zou ontstaan) of *de necessitate vacui* (een elliptische uitdrukking voor de noodzakelijkheid, het vacuum te vermijden). Het meest bekend is een door Johannes Canonicus gebezigde formulering geworden, waarin gezegd wordt, dat de Natuur een *horror vacui* (een afschuw van het ledig) heeft (ook komt de uitdrukking *natura abhorret vacuum* voor); van haar hebben zich de bestrijders van de middeleeuwse physica altijd bij voorkeur bediend: de anthropomorphe inkleding was een voor de hand liggend mikpunt voor hun spot.

Ook in onzen tijd is de theorie die uit de pneumatische verschijnselen tot de onmogelijkheid van een vacuum besluit, onder den laatsten naam nog vaak het voorwerp van een enigszins goedkope ridiculisering. Men maakt zich dan vrolijk over de door den term horror gewekte gedachte aan de Natuur als een wezen, dat vatbaar zou zijn voor aandoeningen en vergeet, dat ook de hedendaagse physica zich voortdurend van uitdrukkingen bedient, die niet minder anthropomorf klinken. Spreekt men niet onbekommerd van het streven van een metaal, ionen in een oplossing te zenden; neemt iemand er aanstoot aan, wanneer er gezegd wordt, dat koppels of krachten iets trachten te doen en heeft men er enig bezwaar tegen van een voorkeur te spreken, die in de Natuur blijkt te bestaan?

Men kan de theorie van den horror vacui dan ook tot op zekere hoogte heel goed waarderen. Wanneer men het als eerste doel van een physische theorie ziet, een aantal verschillende verschijnselen onder één gezichtspunt samen te vatten en dit gezichtspunt duidelijk te omschrijven, dan valt niet te ontkennen, dat zij aan dezen eis voldoet. Men kan er dan een bezwaar in zien, dat zij niets onthult omtrent de wijze waarop de Natuur te werk gaat om het gevreesde vacuum te vermijden, maar opnieuw zal men moeten toegeven, dat dit bezwaar (zo het er een is) in de hedendaagse physica ook voortdurend zou kunnen worden aangevoerd. Wanneer men rekenschap geeft van de electrische energie van een inductiestroom die door beweging van een door een stroom doorlopen primaire draadklos ten opzichte van een secundaire klos in deze wordt opgewekt, door te wijzen op den arbeid die bij die beweging verricht moet worden, komt

men ook niets te weten over het mechanisme, dat de hiertoe bestede mechanische energie in electrische energie omzet. In het algemeen doen verklaringen met behulp van het energieprincipe (dat men ook wel zou kunnen formuleren door te spreken over den kennelijken afschuw, dien de Natuur tegen het te loor gaan van energie bezit) altijd heel sterk denken aan de redeneringen die op horror vacui berusten.

Wat aan deze theorie waarlijk ontbrak (eerst Galilei zou een poging doen, deze leemte aan te vullen) was, dat men niet probeerde, de intensiteit van het onderstelde streven der Natuur tot het vermijden van een vacuum te meten en na te gaan of er ook een grens aan gesteld is. Overigens is het met haar gegaan als met zo menige middeleeuwse theorie: de fout lag niet in het opstellen, maar in het te lang voortgezette volhouden. Toen er feiten aan het licht kwamen die ze niet meer ongedwongen kon verklaren, heeft men haar op grond van traditie en autoriteit trachten te handhaven; dat zij toen met spot en hoon overladen is, ligt voor de hand; in de dertiende eeuw moet men haar echter au sérieux nemen.

65. Dat men de gehele Middeleeuwen door zo algemeen en geredelijk overtuigd is gebleven, dat een vacuum in de natuur niet kan voorkomen, moet worden beschouwd als een uitvloeisel van de Platonische opvatting, dat de natuur door den Demiurg zo voortreffelijk mogelijk is ingericht en dat er daardoor geen plaats in is voor iets dat de harmonie van het geheel zou verstoren. Het is een overtuiging die, losgemaakt van haar motivering, door alle tijden heen altijd als een inspirerende factor gewerkt heeft; alleen is de vraag wat als wanordelijk en onharmonisch beschouwd moet worden, in den loop der eeuwen op verschillende wijze beantwoord. Voor den middeleeuwer viel de voorstelling van een lege ruimte er zeer zeker onder.

Men zou het scholastieke streven naar een logisch correcte wijze van uitdrukken sterk onderschatten, indien men wilde aannemen, dat men zich tevreden heeft gesteld met de in ieder geval zeer eliptische omschrijving, dat er bepaalde verschijnselen plaats hebben ne sit vacuum. Het is vooral Roger Bacon geweest[43], die er op gewezen heeft, dat een vacuum, dat immers niets is, niet als oorzaak kan fungeren; het kan zeer zeker geen werkoorzaak zijn, maar het is ook niet als doeloorzaak te aanvaarden. Als zodanig moet het behoud van orde in de natuur worden beschouwd. Echter is het, volgens een algemene scholastieke zienswijze, nooit voldoende, alleen een doeloorzaak op te geven; men moet ook de werkoorzaak aanwijzen, die de verwezenlijking van het doel bewerkt. Dat hebben verschillende auteurs dan ook voor de pneumatische verschijnselen trachten te doen; wegens het gemis aan inzicht in de werkelijke oorzaak kon daarbij echter geen succes worden behaald.

66. Om de negatieve formulering die door de uitdrukking ne sit vacuum gegeven werd, door een positieve te vervangen, voeren verschillende auteurs het principe van de universele continuïteit der natuurlijke licha-

men als verklaringsprincipe in: ieder lichaam moet steeds met andere lichamen blijven samenhangen. Adelard van Bath, blijkbaar puttend uit Arabische bronnen, verklaart zo de werking van de pipet, Roger Bacon en zijn leerling of aanhanger die de auteur was van de vroeger aan Robert Grosseteste toegeschreven *Summa Philosophiae*, werken de gedachte verder uit[44].

Dit principe vormt tevens een voorbeeld van den algemenen regel, dat een zogenaamde universele natuur altijd de particuliere naturen der lichamen overheerst. Door zijn particuliere natuur, die het gevolg is van zijn substantiëlen vorm, tracht water zich in lucht naar omlaag te bewegen omdat het zodoende zijn natuurlijke plaats bereikt. Maar het hoort tot de universele natuur van al het stoffelijke, dat het steeds met andere lichamen moet blijven samenhangen. Daarom zijn er ruststanden (het water dat niet uit de pipet stroomt als men deze aan den bovenkant dichthoudt) en bewegingen (het water dat omhoog stijgt als men aan de pipet zuigt) die met de particuliere natuur van het zware in strijd zijn. De auteur der *Summa Philosophiae* bepaalt de universele natuur nader als zetelend in een geschapen intelligentie (die bij Alanus zelf de Natuur heette); de individuele objecten ontlenen daaraan hun particuliere naturen, maar deze kunnen door de universele buiten werking worden gesteld als dit voor het door haar beoogde doel nodig is.

Aegidius Romanus[45] formuleert een soortgelijke opvatting wanneer hij aan de hemelspheren, behalve een vermogen dat zwaarte en lichtheid in het leven roept, ook nog een kracht tot handhaving van de universele continuïteit toekent. Hij noemt deze, ook weer sterk elliptisch, *tractus a vacuo*, wat te verstaan is als een trekkracht die het tot stand komen van een vacuum moet verhinderen.

E. De optica in de dertiende eeuw[46]

67. Bij de behandeling van de Griekse natuurwetenschap konden we reeds opmerken, hoe naast de mechanica zich de optica het meest als zelfstandige tak der physica ontwikkelde. Die bevoorrechte positie heeft zij bij de Arabieren behouden en in de Scholastiek is zij het ook, die de grootste belangstelling trekt en het meest een zekere stelselmatige beoefening vindt. Voor een deel is dat natuurlijk een gevolg van het feit, dat de Grieken haar al zo op den voorgrond hadden geschoven; voor een ander deel werken hier dezelfde oorzaken voort, die dit hadden teweeggebracht: de toepasbaarheid van een eenvoudige meetkunde, het opvallende voorkomen van optische verschijnselen in den dampkring, de aandacht die bouw en werking van het oog meer dan van enig ander zintuig trokken, de merkwaardige mogelijkheid van optisch bedrog. Daarbij kwam tenslotte onder neo-platonischen invloed nog een zeker verband met bepaalde

metaphysische beschouwingswijzen waarover we hieronder nader zullen spreken.

Wij geven in het volgende een korte samenvatting van den toestand waarin de optica in de dertiende eeuw door toedoen van het werk van Dietrich van Freiberg, Robert Grosseteste, Roger Bacon, John Peckham en Witelo is komen te verkeren; we zien daarbij echter af van de bespreking van hun theorieën over bouw en werking van het oog: zij volgen hierin Arabische auteurs, die zelf hun kennis weer voornamelijk uit Galenos hadden geput; de behandeling van zijn denkbeelden zou echter een verder gaande uiteenzetting van de antieke physiologie vereisen dan de plaatsruimte ons toestaat te geven. We beperken ons dus tot strict physische onderwerpen en tot de boven reeds aangeduide lichtmetaphysica.

68. De behandeling van het onderwerp katoptrica (leer der terugkaatsing) sluit aan bij wat Euclides, Ptolemaios en Alhazen daarover hadden geleerd. De kennis van de gelijkheid van de hoeken van inval en terugkaatsing stelde in staat tot een volledig inzicht in de beeldvorming door een vlakken spiegel, maar bij den hollen spherischen en parabolischen spiegel vormden de mathematische moeilijkheden spoedig een onoverkomelijke hindernis. De gedachte, het probleem van den spherischen spiegel te vereenvoudigen door slechts een klein gedeelte van een flauw gekromden spiegel te beschouwen en hiervoor zekere benaderingen toe te laten, was nog niet opgekomen. Daardoor leidde het voor den vlakken spiegel nog eenvoudig oplosbare vraagstuk, een lichtstraal te construeren, die van een gegeven lichtpunt uitgaande, na terugkaatsing een gegeven oog bereikt, hier al dadelijk tot het vierdegraadsprobleem dat we reeds op naam van Alhazen hebben zien staan. De geringe mathematische ontwikkeling van de middeleeuwse geleerden, die wel vertalingen van Arabische werken tot hun beschikking hadden, maar die daarom nog niet de mathematische vaardigheid bezaten die voor de lectuur daarvan ondersteld werd, trok hier een onoverschrijdbare grens aan hun physisch kunnen. De theoretische behandeling bleef daardoor vaag en onbevredigend, terwijl uit niets blijkt, dat men getracht heeft door een experimenteel onderzoek althans enige feitelijke kennis van de beeldvorming te verwerven.

69. Voor de dioptrica (leer der breking) zou natuurlijk het feit, dat de Griekse en Arabische physici er niet in waren geslaagd, de betrekking op te sporen die tussen de hoeken van inval en breking bestaat, van het begin af zelfs dan een essentiële moeilijkheid hebben gevormd, wanneer men met de behandeling van het brekingsverschijnsel bij Ptolemaios en Alhazen op de hoogte was geweest. Dit was echter blijkbaar niet het geval. Grosseteste noemt het onderwerp onaangeroerd en onbekend en evenmin als hij blijkt Roger Bacon het toestel te kennen, waarmee Alhazen, het voorbeeld van Ptolemaios volgend, bijeenbehorende waarden van den invals- en den brekingshoek gemeten had. Het blijft dus bij een qualitatieve behandeling van zekere brekingsverschijnselen: men kent het onder-

scheid tussen breking van de normaal af en naar de normaal toe en verklaart daarmee eenvoudige brekingsverschijnselen, zoals de schijnbare opheffing van een in water gezien lichaam. Bacon behandelt de werking van het *corpus urinale* (brandbol), een massieve of met water gevulde holle glazen bol, waarop zonlicht valt[47]. De zon (Fig. 8) wordt in Sol gedacht; de zonnestralen vallen divergent op het bolle grensvlak, lopen binnen den bol evenwijdig en treden convergent uit. Grosseteste en Bacon kennen ook de vergrotende werking van glazen bolsegmenten, die zij ter versterking van het gezichtsvermogen aan mensen met zwakke ogen of ouden van dagen aanraden[48]. Beiden verliezen zich hierbij in fantasieën over de mogelijkheid om, door passende media achter elkaar te plaatsen,

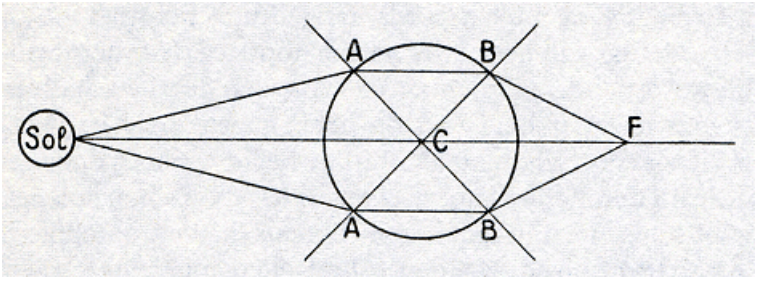


Fig. 8. Corpus urinale (brandbol) volgens Roger Bacon, *Tractatus de multiplicatione specierum* Pars II, c. 3. De zonnestralen worden in den met water gevulden bol evenwijdig gemaakt en verenigen zich, uittredend, in het punctum combustionis (brandpunt) *F*.

op grote-afstanden kleine letters te lezen, zandkorrels te tellen, een knaap als een reus, een man als een berg te zien[49]. Op dergelijke beschouwingen en op speculaties over de denkbaarheid, dat men door op hoge bergen spiegels op te stellen zou kunnen zien wat er op grote afstanden gebeurt, berust het verspreide verhaal, dat Bacon kijkers en telescopen zou hebben gekend.

70. Van de optische verschijnselen in den dampkring had van oudsher de regenboog altijd het meest de aandacht getrokken en er is dan ook geen Grieks, Arabisch of middeleeuws auteur die, over natuurwetenschap schrijvend, dit onderwerp verwaarloost. Er hadden zich in den loop der tijden verschillende theorieën over gevormd, die zich in twee groepen laten indelen. Volgens die van de eerste groep ontstaat de boog door spiegeling van de zon hetzij in een groot aantal kleine druppels (Aristoteles) hetzij in een enkele concave wolk (Seneca, waarschijnlijk Poseidonios) volgend); volgens die van de tweede groep, bij de Arabieren vertegenwoordigd door Kamâl al-Dîn, is er zowel terugkaatsing als breking in het geding. Aristoteles weet reeds, dat de hoogte van den top van den boog afhankelijk is van den zonnestand, dat het verschijnsel tussen de herfsten de lenteaequinox op ieder uur van den dag mogelijk is, maar in het zomerhalfjaar niet midden op den dag. Hij kent ook den nevenboog.

In de richting van een combinatie van breking en terugkaatsing blijkt ook Grosseteste[50] de verklaring van het verschijnsel te zoeken. Zijn beschouwingen staan echter achter bij die van Dietrich van Freiberg[51], die wel de eerste schijnt te zijn geweest, die het ontstaan van den boog heeft verklaard door de opvolging: breking, terugkaatsing aan den druppelwand, breking. Ook de nevenboog wordt bij hem in beginsel juist begrepen. Opmerkelijk is dat hij voor de maximale hoogte van den boog-top 22^{o} opgeeft, welke waarde hij met het astrolabium zegt te hebben gemeten, terwijl het ware bedrag 42^{o} is.

Een probleem waar geen opticus in Oudheid of Middeleeuwen raad mee heeft geweten, is dat van de kleuren in den boog. Aristoteles meent, dat de meest scheef invallende stralen het sterkst worden gereflecteerd en dat daardoor rood ontstaat. Dietrich beroept zich op een eigen kleurentheorie, die op zich zelf geen waarde heeft, maar is althans in staat te verklaren, waarom de volgorde van de kleuren in den nevenboog een andere is dan in den boog zelf. Dezelfde verklaring ontmoet men bij Witelo.

Behalve den gewonen regenboog behandelt Dietrich nog den witten boog, de halo om de zon (waarvoor hij den diameter juist opgeeft als 22^{o}), nevenzonnen en noorderlicht. Over het laatste verschijnsel oppert hij niet meer dan voorzichtige vermoedens; het is misschien helemaal niet optisch verklaarbaar, maar behoort wellicht tot de categorie der natuurverschijnselen die door God worden gebruikt om een of andere op handen zijnde belangrijke gebeurtenis aan te kondigen. Aan het eind van zijn physisch inzicht gekomen gebruikt hij, blijkbaar noodgedwongen, het refugium miserorum. (II: 26)

71. Onder de physische optica der Middeleeuwen vallen de theorieën die in het kader der Aristotelische natuurleer rekenschap willen geven van het wezen van het licht. Met Aristoteles beschouwen alle scholastici het licht bij voorkeur als een qualiteit van het diaphane, een hoedanigheid van een doorschijnend medium, niet als een substantie. Het probleem dat men zich stelde, was nu, te begrijpen, hoe het diaphane bij aanwezigheid van een lichtgevend lichaam die qualiteit verwerft.

Dietrich heeft hierover een curieuse, enigszins occasionalistisch aandoende theorie: het diaphane heeft van zijn generans (d.w.z. van de in het midden gelaten oorzaak waaraan het zijn ontstaan dankt) een zekere dispositie verkregen, een *potentia accidentalis*, om in een meer volmaakten toestand, nl. het verlicht zijn, over te gaan. Het neemt dien meer volmaakten vorm (*forma perfectionalis*) onmiddellijk aan, wanneer een lichtgevend lichaam aanwezig is. Dit werkt echter geenszins als agens; het schijnt veeleer een teken te zijn voor het generans, in het diaphane de forma perfectionalis te laten optreden.

Wij bevinden ons hier midden in de eigenaardige spheer van de Aristotelisch-scholastische natuurverklaring, die zo wonderlijk contrasteert met de mechanistische visie op natuurprocessen, die de klassieke physica

kenmerkt. De kern van de tegenstelling bestaat hierin, dat volgens de peripatetische opvatting alle veranderingen in de dingen van binnen uit plaatsgrijpen, spontaan of bij wijze van een soort psychische reactie op een teken, een bevel of een aansporing, steeds dus ongeveer als bij een levend lichaam, terwijl het mechanicisme slechts dode stofbrokken kent, die zich willoos door van buitenaf werkende krachten heen en weer laten schuiven.

72. Heel anders en in zeker opzicht meer met latere denkbeelden verwant is de theorie van Grosseteste en Bacon. Bij hen is er sprake van een voortplanting van het licht in dezen zin, dat de lichtbron in de aangrenzende laag van het diaphane medium licht voortbrengt, welk licht in de volgende laag nieuw licht opwekt en zo voort. Om dit nader te verduidelijken maakt Bacon gebruik van het voor de middeleeuwen hoogst belangrijke speciesbegrip, waaraan we daarom eerst enige aandacht moeten wijden.

Het begrip species is afkomstig uit een door Aristoteles aangegeven en door Thomas uitgewerkte theorie over de wijze, waarop wij door zintuiglijke waarneming kennis van een ding verwerven. Wanneer wij bij voorbeeld een ding zien, is dit voorwerp, hoewel het zijn eigen volledig en zelfstandig bestaan buiten ons heeft, in zekeren zin ook in het gezichtsorgaan aanwezig, welke zijnswijze een *species sensibilis* genoemd wordt; de materialiteit van het voorwerp is daarbij afgelegd, maar de wezenskern is behouden gebleven; wordt nu deze species sensibilis onderworpen aan de werking van het intellectus agens (dat immers volgens de Thomistische opvatting een actieve kracht van het denkvermogen is) dan ontstaat de z.g. *species intelligibilis*, waarvan de aanwezigheid de bewuste waarneming van het ding buiten ons beduidt. In deze species intelligibilis is het ding in zekeren zin in ons en zijn wij het ding; zij is de zijnswijze van het gekende ding in den kennende.

73. Bacon[52] gebruikt nu dezen term species in het algemeen om de kracht aan te duiden, waardoor alles wat werkzaam is, onverschillig of het een substantie of een accidens is, zijn invloed op iets anders uitoefent, waarbij het in het geval van een werkzame substantie niet ter zake doet of deze geestelijk dan wel stoffelijk van aard is. In deze kracht komt natuurlijk de eigen aard van het agens tot uiting; zij lijkt er in zekeren zin op en heet daarom ten aanzien van haar oorsprong *similitudo* (gelijkenis) of *imago* (beeld); species is de naam dien zij draagt in haar relatie tot de zinnen of tot het kenvermogen, waarvoor ook *intentio* of *forma* gezegd kan worden. Men moet dus species allerminst verstaan in den zin van het Epicuraeische ἐίδωλον; de species van de zon is niet een klein zonnetje, maar de kracht waardoor het eigen licht van de zon (lux) in het diaphane medium den toestand van verlichting (lumen) teweegbrengt.

Door middel van zijn species tracht het agens nu het patiens aan zich te assimileren: zo probeert een vuur een stuk hout ook tot vuur te maken, een warm lichaam tracht het te verwarmen. Is nu een patiens door middel van een species geassimileerd aan het agens, dan wordt het zelf oorsprong

van een nieuwe species. Zo wekt de zon door haar species in haar omgeving verlichting op, maar ieder punt dat verlicht wordt, wordt zelf lichtbron voor zijn eigen omgeving. Het is een gedachte die Christiaan Huygens later ten grondslag zal leggen aan zijn lichttheorie (IV: 284) en die als beginsel van Huygens tot een blijvend bezit der physica geworden is. Zonlicht wordt dus b.v. niet zonder meer teruggekaatst door het maanoppervlak zoals een elastische bal terugspringt van een muur; de species van het zonlicht (waaronder dus de invloed te verstaan is dien het zonlicht daar ter plaatse uitoefent) maakt het maanoppervlak zelf lichtend (bij maansverduistering valt het licht scheef in; de species is dan te zwak om de gewone helderheid in het leven te roepen en we zien de maan daardoor asgrauw).

74. De inwerking van de species op onze zintuigen gaat anders in zijn werk: de ondergane physische inwerking (de species sensibilis van Thomas) wordt door een werking van ons verstand (het intellectus agens van Thomas) tot iets meer geestelijks verheven. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat niet al onze gewaarwordingen door species veroorzaakt worden; zo b.v. niet grootte, gestalte, ligging, beweging, i.h.a. alles wat door den *sensus communis* wordt waargenomen.

In afwijking van Aristoteles en de meerderheid der scholastieken neemt Bacon aan, dat een substantie niet alleen door haar qualiteiten, maar ook direct door haar eigen species werkt; echter werkt die eigen species niet op de zintuigen en evenmin op den sensus communis; het geschiedt door een zeker geestelijk proces, verwant aan dat waardoor een lam in een wolf zijn natuurlijken vijand herkent en er voor vlucht. De species van den wolf kwetst het waarderingsvermogen (*facultas aestimativa*) van het lam, dat door de species van een ander lam juist aangenaam zou zijn aangedaan. Het gaat hier niet om gehoor-, gezichts- en reukindrukken, waaruit het lam tot de aanwezigheid van den wolf zou besluiten, maar om de totale impressie, die door de species van de substantie wolf wordt opgewekt.

75. Bacon legt er voortdurend den nadruk op, dat men bij de voortplanting (*multiplicatio*) van een species vooral niet moet denken aan uitzending van corpuscula. Zulk een uitzending treedt op bij sterk riekende stoffen als muskus en wierook, die al reukverspreidend uiteenvallen; dat het bij lichtuitzending heel anders toegaat, blijkt wel hieruit, dat de hemellichamen, die toch het meeste licht verspreiden, juist incorruptibel zijn.

Voor alle beschouwingen over de wijze waarop een species van punt tot punt wordt overgedragen, vormt de lichtuitbreiding het prototype, dat eerst door Grosseteste en op zijn voetspoor door Roger Bacon aandachtig bestudeerd is. In een lichtstraal beweegt zich niets lichamelijks van plaats tot plaats voort; er is alleen een voortdurende modificatie van den toestand van het medium, omdat telkens weer de actieve potentie geactualiseerd wordt; deze modificatie is het die zich met een zekere snelheid voortplant.

Grosseteste en Bacon zijn wel door een zeer juist methodisch inzicht geleid geworden, toen ze hebben gevoeld en uitgesproken, dat de nauwkeurige studie van de *multiplicatio specierum*, zoals deze in de lichtvoort-planting is geconcretiseerd, als het ware den sleutel tot het verstaan van alle physische krachtwerking bevat en dat deze studie moet geschieden langs mathematischen weg. Echter beschikken zij over geen andere hiervoor toepasbare mathematische begrippen dan die in de elementaire geometrische optica voorkwamen en ze hebben daardoor in hun pogingen, de multiplicatio specierum wiskundig voor te stellen, niet veel kunnen bereiken. Toch blijft het van belang, kennis te nemen van de beschouwingen, die Robert Grosseteste in zijn werk *De lineis, angulis et figuris* (Over lijnen, hoeken en figuren) over dit onderwerp houdt[53]. De titel geeft reeds de twee gezichtspunten aan, van waaruit de krachtuitbreiding wordt beschouwd: ze heeft plaats super lineas et angulos, d.w.z. volgens rechte lijnen, die door terugkaatsing of breking van richting kunnen veranderen en ze kan beschouwd worden in verband met de meetkundige gedaante die een speciesvoortplanting kan hebben, b.v. bolvormig bij emissie uit een centrum en conisch bij receptie van species, die langs verschillende actielijnen in één punt van een patiens samenkomen.

De verschillende hierbij optredende mogelijkheden worden nu gedetailleerd behandeld, waarbij ook aandacht wordt gewijd aan de verzwakking van de werking bij toename van den afstand tot de krachtbron en aan haar afhankelijkheid van den invalshoek. Het typeert weer de middeleeuwse behandelingswijze, dat hier geen mathematische precisering beproefd wordt; het blijft alles bij wat men gewoonlijk het qualitatieve noemt, als men bedoelt dat alleen de zin waarin een grootheid verandert, wordt aangegeven, maar niet het bedrag of de snelheid der verandering.

76. Het zal den lezer reeds zijn opgevallen, hoezeer de spheer, waarin deze beschouwingen over de actielijnen waarlangs een species wordt overgebracht verlopen, verwant is met die waarin later de voorstelling van krachtlijnen die de structuur van een krachtveld aangeven, zal ontstaan. De gedachte, het speciesbegrip op magnetische verschijnselen toe te passen (voor electrische kan men het in de dertiende eeuw natuurlijk nog niet verwachten) schijnt echter bij Grosseteste en Bacon niet te zijn opgekomen.

Intussen is het nu ook mogelijk geworden te antwoorden op de in II: 59 nog opengelaten vraag, aan welke toepassingsmogelijkheid van de wiskunde Bacon voor alles gedacht heeft, toen hij haar essentiële betekenis voor de natuurwetenschap betoogde: het zijn de lineae, de anguli en de figurae die bij de speciesvoortplanting optreden, die men mathematisch moet leren beheersen: modern uitgedrukt: het is een wiskundige theorie van een krachtveld, waarop de physica wacht.

77. Wij besluiten de behandeling van de dertiende-eeuwse optica nu door nog iets te zeggen van de metaphysische beschouwing van het licht,

die men de lichtmetaphysica pleegt te noemen[54] en waarvan vooral Grosseteste een aanhanger is.

In verscheidene godsdienstige en philosophische stelsels was altijd al een dankbaar gebruik gemaakt van een aan het licht ontleende beeldspraak ter verduidelijking van zuiver geestelijke begrippen. Plato tracht een denkbeeld van de idee van het Goede te geven door haar betekenis in de intelligibele wereld met die van de zon in de empirische werkelijkheid te vergelijken; het Johannes-evangelie ziet in het licht het beeld van God's boven al het zinlijke verheven wezen. Plotinos verheldert het begrip emanatie door haar met een lichtuitstraling uit een onuitputtelijke bron te vergelijken en illustreert de onderlinge relatie van de drie hypostasen door ze te laten corresponderen met het Licht, de Zon en de Maan.

In de lichtmetaphysica nu die Grosseteste aanhangt, wordt het Oerwezen niet vergeleken met het Licht, maar het wordt er mee geïdentificeerd. Het ware licht is het intelligible licht; daaruit komt het zichtbare voort als een emanatie, niet naar substantie, maar in dynamischen zin, dus als een krachtuitstraling. Wereldrede en Wereldziel worden beschouwd als lichtcirkels die van het Ene als kern uitstralen.

De hoofdbron voor deze beschouwingswijze schijnt wel pseudo-Dionysius Areopagita te zijn geweest, die op philosophisch gebied van Proklos afhankelijk is. Ook in de Joods-Arabische wijsbegeerte was ze met voorliefde ontvangen. Bij Avencebrol waren de begrippen emanatie en influentie geheel als lichtuitstralingen behandeld, waarbij het begrip licht zo ruim werd genomen, dat daaronder zowel het geestelijke als het zinlijke licht viel. En toen de Arabische philosophie, de neo-Platonische leer in Aristotelischen zin omvormend, den geest als het hoogste principe was gaan beschouwen en daaruit een rijk hierarchisch systeem van intelligenties, geestelijke spheren, zielen en stoffelijke spheren had laten uitvloeien, waarin telkens het hogere inwerkte op het lagere, was ook dat als een uitbreiding van intelligibel licht gezien. In het bijzonder was bij Avicenna het licht het voertuig geworden voor den invloed dien de hemelse spheren op het ondermaanse uitoefenen.

Deze denkbeelden vonden in West-Europa overal gretige ontvangst waar ze samentroffen met de Augustijnse of de Dionysische traditie; men kan ze vinden bij Willem van Auvergne, die ze aan Avencebrol ontleent, bij Alexander van Hales, bij Bonaventura en bij Vincent van Beauvais. Ze worden daarentegen verworpen door Thomas van Aquino, die inplaats van de mening van Augustinus, dat het eigenlijke licht het geestelijke licht is, de Aristotelische opvatting aanvaardt, dat licht een accidens is en wel een qualiteit van het diaphane en op grond daarvan de voorstelling, dat krachtwerking, het uitoefenen van invloed, door bemiddeling van het licht zou kunnen plaats hebben, bestrijdt.

Zoals reeds bleek vindt deze dan bij Grosseteste en onder zijn invloed ook bij Bacon weer volle instemming. Bij den bisschop van Lincoln door-

dringt zij feitelijk het gehele denken, van de kentheorie af tot de kosmologie toe. Licht is voor hem de *corporeitas*, d.w.z. de eerste vorm, die, zich verbindend met de materia prima, zinlijk waarneembare lichamen vormt. Beide componenten zijn op zichzelf onruimtelijk maar, toen ze zich verbonden hebben, is door een uitbreiding in het driedimensionale, die door het opblazen van een zeepbel stoffelijk kan worden nagebootst, het zichtbare heelal ontstaan, dat in zijn uiterste begrenzende spheer den hoogsten graad van verfijning bereikt om zich daarna door contractie tot de opvolgende hemelspheren en elementspheren te verdichten.

78. Het gehele boven gegeven overzicht van de dertiende-eeuwse optica illustreert nog eens treffend het verschil tussen de functie die de beschouwing van physische verschijnselen en processen in het middeleeuwse en in het nieuwere denken vervult. De hedendaagse physicus steekt van het waargenomen verschijnsel af naar de diepte; hij streeft er naar, het door metende proefneming quantitatief nauwkeurig te leren kennen en zoekt dan een exacte fundering van het begrippenstelsel waardoor hij het kan omschrijven; daarna gebruikt hij het enerzijds om nieuwe verschijnselen op het spoor te komen die ook weer vatbaar zijn voor experimentele toetsing, terwijl hij zich anderzijds afvraagt, of er ook een nuttig gebruik van te maken is om den werkenden mens te ondersteunen in zijn arbeid of te verstrooien, wanneer hij ontspanning zoekt. De middeleeuwse denker stijgt dadelijk omhoog; nog voordat hij zich goed den tijd en de moeite gegund heeft, het waargenomene goed te onderzoeken, verbindt hij er reeds overpeinzingen aan die hem tot de hoogste toppen van het speculatieve denken zullen voeren.

Met het verschil in denkrichting correspondeert een verschil in de localiteit waarin het denkwerk gedaan wordt, dat van het moderne laboratorium en de middeleeuwse kloostercel. Beide bezitten hun eigen bekoring en staan bloot aan hun eigen gevaren. Onder de strenge tucht van het exacte denken is in het laboratorium de emotie van den alchemist die in zijn Magisterium de natuur haar geheimen tracht te ontlokken, geenszins te loor gegaan, maar de gespannen aandacht voor het physische proces bergt de dreiging van een exclusieve binding aan het materiële. In de kloostercel van den scholasticus dringt het uitzicht op de eeuwigheid zich sterker op dan dat op de wereld; de geest neemt er gemakkelijk een hoge vlucht, maar wordt er ook spoedig de prooi van een neiging tot onverantwoorde en onverifieerbare speculatie.

F. Magnetisme

79. Zoals we boven reeds opmerkten, kan men, waar in de middeleeuwse literatuur sprake is van experimenten en experimentatoren, nooit bij voorbaat verzekerd zijn, dat hiermee iets bedoeld wordt dat wij nu ook

nog zo zouden noemen. Dat neemt niet weg, dat het bij nader onderzoek dien naam ook wel eens ten volle blijkt te verdienen. Dat is met name het geval met de onderzoekingen over magnetisme van den dertiende-eeuwsen natuurkundige Petrus van Maricourt, meer bekend onder den naam Petrus Peregrinus en waarschijnlijk identiek met den Petrus dien Roger Bacon (die even uitbundig in loftuitingen als in misprijzingen kan zijn) als den grootsten experimentator van zijn tijd verheerlijkt.

De aantrekking van ijzer door den magneetsteen was van oudsher altijd als een der merkwaardigste verschijnselen der natuur beschouwd; in de Middeleeuwen gold ze als het prototype van het miraculeuse, ze werd geregeld met magische practijken in verband gebracht en gaf aanleiding tot allerlei phantastische verhalen. Des te meer moet men de volstrekt zakelijke en exact natuurwetenschappelijke wijze bewonderen, waarop Petrus Peregrinus in zijn in 1269 geschreven *Epistola de Magnete* de fundamentele magnetische verschijnselen aan de hand van systematische proeven opspoort en beschrijft[55]. Men vindt in zijn werkje ongeveer de stof, die in onzen tijd nog steeds in het elementaire physica-onderwijs het uitgangspunt vormt: onderscheiding van noord- en zuidpool, de regel voor de krachten die polen op elkaar uitoefenen, het magnetiseren van ijzer door bestrijking met een magneet, de mogelijkheid een magneetnaald in kleinere stukken te breken, die dan weer magneten blijken te zijn, de magnetische inductie en de practische toepassing als kompasnaald. Er is zelfs reeds sprake van proeven met *terrellae*, de kleine gemagnetiseerde bollen, waarvan Gilbert later in zijn onderzoekingen over aardmagnetisme gebruik zal maken. Het geheel getuigt van een echt natuurwetenschappelijken geest en de poging om met behulp van magneten een perpetuum mobile te construeren, vermag, gezien den tijd waarin ze gedaan werd, aan dien indruk geen afbreuk te doen.

Wanneer Petrus Peregrinus werkelijk dezelfde is als de dominus experimentorum waarover Bacon met zulk een oprechte bewondering spreekt, moet hij een man zijn geweest met een intense belangstelling in experimentele natuurwetenschap. Bacon roemt de onbaatzuchtigheid, waarmee hij eer en rijkdom verzaakte om zich geheel aan zijn wetenschappelijk werk te kunnen wijden, en de moeite die hij zich gaf om in gesprekken met mensen van de practijk (metaalbewerkers, mijnwerkers, jagers, landmeters, maar ook magiërs en goochelaars) van hun practische ervaring te profiteren.

80. De noord-zuid instelling van de draaibaar opgestelde of op water drijvende magneetnaald (Petrus is overtuigd dat zij exact in den meridiaan staat; een passage in zijn brief, waarin de declinatie vermeld wordt, moet later ingelast zijn[56]) werd uit den aard der zaak algemeen als bevestiging beschouwd van den nauwen samenhang van aardse en hemelse verschijnselen. Petrus meent, dat de magneet haar kracht ontleent aan de hemelpolen en hoopt op grond daarvan, dat de terrella met den hemel

mee zal draaien en dus een soort van astronomische klok zal vormen. In dezen zelfden tijd beginnen ook reeds de later op grotere schaal door Kepler aangewende pogingen, van het magnetisme partij te trekken voor de verklaring van de hemelverschijnselen. Willem van Auvergne vergelijkt althans de overdracht van bewegend vermogen van de buitenste hemelspheer op de meer naar binnen gelegene met het verschijnsel van magnetische inductie[57].

81. Het magnetisme heeft natuurlijk steeds in sterke mate de verklaringsbehoefte geprikkeld. We zagen reeds, hoe het voor Thales aanleiding was, aan een magneet een ziel toe te kennen en die opvatting heeft altijd veel aanhang gevonden; het feit, dat een magneet door glas of koper heen werkt, werd er evenzeer als argument voor beschouwd als de geleidelijke vermindering van de kracht van een magneet. De officiële verklaring van de middeleeuwse schoolphilosophie, die zij op gezag van Averroës aan Aristoteles toeschrijft, vermijdt de animistische terminologie, maar blijft overigens in wezen denzelfden gedachtengang volgen, waar zij de magneet in het ijzer een qualiteit laat opwekken, die naar vereniging met de magneet streeft en daartoe per accidens een locale beweging uitlokt.

Evenals bij de bespreking van de natuurwetenschap der Oudheid moeten we ook thans aandacht wijden aan de astrologie en de alchemie, terwijl bovendien nu ook de magie om haar nauwen samenhang met het physisch experiment onze belangstelling verdient.

G. Astrologie[58]

82. In het hoofdstuk over de patristische natuurwetenschap zagen we reeds (I:123), dat de Kerkvaders ondanks hun ernstige bezwaren tegen de practijk der genethlialogie niet zo ver gingen, dat ze iederen astralen invloed op het ondermaanse ontkenden. Toch had hun veroordeling van de sterrenwichelarij voorlopig genoeg invloed om althans een openlijke beoefening in Christelijke landen uit te sluiten.

Onder den Islam was zij echter, mede door Joodse invloeden, weer tot groten bloei gekomen en de gretigheid waarmee in de twaalfde eeuw juist astrologische werken uit het Arabisch vertaald werden, bewijst wel, hoezeer zij ook in het Westen nog steeds de geheime verlangens vervulde. Bovendien bleek in de dertiende eeuw al spoedig, dat ook de Aristotelische natuurphilosophie ruimte het voor astrologische theorieën en dat men zich voor hun verdediging zelfs op zeer nadrukkelijke uitspraken van den Stagiriet kon beroepen. Tegenover deze sterke en algemene stroming heeft de Kerk een verzoenende houding aangenomen. Het bleek mogelijk, om op grond van uitlatingen van Augustinus, waarin invloed van de sterren op het menselijk lichaam werd toegegeven, maar onverzwakte handhaving van het leerstuk van den vrijen wil verlangd werd,

tot een compromis te komen waarbij een aanzienlijk deel van de astrologie werd gesanctionneerd, maar een ander uitdrukkelijk werd uitgesloten. Het kwam, kort gezegd, hierop neer, dat zuiver physische uitwerkingen van de hemellichamen onvoorwaardelijk werden erkend, dat ook de invloed dien zij indirect, namelijk door bemiddeling van het lichaam, op het psychische leven van den mens, op zijn denken, voelen en willen, uitoefenen, niet werd geloochend, maar dat de gedachte, dat deze invloeden met onontkoombare noodzaak zouden werken, principieel verworpen werd. Dat beduidde een vrij ver gaande aanvaarding van de aanspraken der astrologie: de fatalistische genethlialogie, die den mens beschouwt als een willozen speelbal van astrale influenties werd in den ban gedaan, maar het systeem van Ptolemaios, dat den mens in staat acht, te ontkomen aan het lot dat de sterren hem voortekenen (*sapiens homo dominatur astris*; de wijze heerst over de sterren), aanvaard. Ook bleef de gehele medische astrologie (waartegen de H. Leo nog zo geijverd had) gesauveerd en zelfs de toch zo sterk aan bijgeloof herinnerende systemen van *electiones* (regels ter bepaling van het juiste ogenblik om iets te ondernemen en ter onderscheiding van gunstige en ongunstige dagen) en van de *interrogationes* (regels voor de astrologische beantwoording van concrete vragen, b.v. over verloren voorwerpen, opsporing van een dief en derg.) ontmoetten geen bezwaren.

83. De Kerk kon des te gereder alle niet uitgesproken fatalistische astrologische theorieën en practijken tolereren, omdat de gehele denkspheer waarin deze thuis horen, zo volkomen paste bij het middeleeuwse denken over de natuur. Platonische, Aristotelische en neo-Platonische denkbeelden werkten hier in dezelfde richting en de algemeen verspreide Christelijke opvatting, dat de hemellichamen door hemelse intelligenties worden voortbewogen (feitelijk slechts een Christelijke adaptatie van de Griekse voorstelling, dat zij goddelijke wezens zijn), strookte daarmee volkomen. En zo zien we dan ook de meest rechtzinnige theologen van de dertiende eeuw, figuren als Albertus Magnus, Robert Grosseteste en Thomas van Aquino, een ver doorgevoerde astrologische wereldbeschouwing huldigen.

Voor Albertus Magnus[59] volgt zelfs uit de vooropgezette handhaving van het leerstuk van den vrijen wil nog niet eens een volstrekte verwerping van de genethlialogie: de toekomst die uit de sterren voorspeld wordt, is geen noodzakelijkheid, die den mens wordt opgelegd; de sterren sturen hem in een bepaalde richting, maar hij is niet verplicht aan dien drang gevolg te geven; zijn handelingen worden er evenmin door gedetermineerd als door het fatum of zelfs door de goddelijke voorzienigheid. Thomas is op dit punt strenger: hij veroordeelt iedere voorspelling van iemands toekomstige handelingen. Zoals we reeds vaker opmerkten, berust die veroordeling echter niet op de overtuiging, dat de voorspelling onmogelijk, maar op de opvatting, dat zij zondig is.

Een merkwaardig symptoom van de algemene aanvaarding van een astrologische wereldbeschouwing vormt het alom verspreide en in de vijftiende eeuw herhaaldelijk gedrukte werk *De proprietatibus rerum* van den Franciscaan Bartholomeus Anglicus, een populaire encyclopaedie, waarin de algemene astrologische theorie, dat de aarde geheel aan hemelse invloeden onderworpen is, met tal van aan Arabische auteurs ontleende detailtoelichtingen behandeld wordt, terwijl de schrijver het niet eens nodig oordeelt, bezwaren te ontwikkelen in verband met het gevaar voor fatalisme en twijfel aan de vrijheid van den wil.

84. Zoals alle wetenschappen die op enigerlei wijze met den godsdienst samenhingen - en dat deden ze, gezien het overheersend religieus karakter van het gehele denkleven, feitelijk alle - had ook de astrologie zekere delicate randkwesties, die op gevaarlijk terrein lagen. Daar was vooreerst de vraag, of Christus tijdens Zijn verblijf op aarde ook onder de sterren heeft gestaan, d.w.z. onderworpen is geweest aan den invloed der hemellichamen, en vervolgens de kwestie van de interpretatie van de ster van Bethlehem. Het eerste wordt door Albertus Magnus ontkend: de Incarnatie bracht geen onderwerping aan de sterren met zich mee, omdat zij vrijwillig was. Roger Bacon echter meent, dat voorzover de geboorte van Christus een natuurlijk feit en Zijn natuur menselijk was, de sterren er op de gewone wijze invloed op hebben gehad. Inzake de ster van Bethlehem was de algemeen aanvaarde opvatting (die reeds door de Kerkvaders was aangegeven), dat zij geen invloed heeft uitgeoefend, maar slechts de geboorte van Christus heeft aangekondigd (in den zin van het Griekse σημαίνειν, dat overigens in de dertiende eeuw over het algemeen weer door het ποιεῖν vervangen was).

85. Een eigenaardige toepassing van de astrologie op godsdienstig terrein bestond nog in de door Albumasar ontwikkelde en door Roger Bacon overgenomen theorie van den samenhang tussen het ontstaan van grote religieuse bewegingen met het optreden van bepaalde planeet-conjuncties[60]. Zo zou het Christendom in verband staan met een conjunctie van Mercurius en Jupiter, de Islam met een van Venus en Jupiter. Daar inderzijds de periodiciteit in de astronomische verschijnselen steeds weer voedsel gaf aan de Stoicijnse voorstelling van een zich periodiek herhalend wereldgebeuren, verwondert het niet, een theorie te zien verschijnen (bij Siger van Brabant[61]), dat het Christendom er al oneindig vaak geweest is en ook oneindig vaak weer verdwenen is. Deze gedachte, die ook een periodieke herhaling van de kruisiging met zich meebrengt, is begrijpelijkerwijze door meer rechtzinnige theologen als een afschuwelijke ketterij verworpen.

Het is natuurlijk niet uitgesloten, dat de denkbeelden van Roger Bacon op het gevaarlijke terrein van de astrologie der godsdiensten tot de suspecte nieuwigheden hebben gehoord die het motief tot zijn veroordeling geleverd hebben. Dat hem het bezit van astrologische overtuigingen zon-

der meer zwaar zou zijn aangerekend, is, in verband met wat boven over de algemene verspreiding daarvan in rechtzinnige kringen gezegd is, geheel onaannemelijk.

H. Magie[62]

86. We zullen van dit zeer uitvoerige onderwerp, dat zowel met den godsdienst als met de natuurwetenschap samenhangt, slechts die aspecten behandelen waarin het laatste verband tot uiting komt. Geheel kunnen we het eerstgenoemde echter niet laten rusten, omdat de voorstellingen over het bestaan en den aard der daemonen in de godsdienstige gedachten-wereld wortelen. Volgens de gangbare Christelijke leer zijn de daemonen de met Lucifer ten val gebrachte opstandige engelen, waaraan God, zoals Hij het ook hun Meester gedaan heeft, binnen zekere grenzen vrijheid van werken heeft gelaten, die zij nu gebruiken om God's rijk te bestrijden. De gehele schepping met uitzondering van het Empyreum (d.i. de verblijfplaats van de engelen en de opgestane lichamen der rechtvaardigen) is het toneel van den strijd van de machten van het Kwade tegen die van het Goede. De gevallen engelen van de tweede hemelse hierarchie (Gewelden, Krachten en Machten) trachten de goede intelligenties die de planeten besturen, in hun werk te hinderen; die van de derde (Vorstendommen, Aartsengelen en Engelen) huizen in het ondermaanse, doordringen alle elementen en zijn er voortdurend op uit, de mensen ten verderve te voeren.

De belangrijke plaats die deze voorstellingen in het Christelijk bewustzijn der Middeleeuwen innemen, verklaart waarom er door tal van auteurs zoveel aandacht aan de verschillende takken der magie gewijd wordt; magie toch is het terrein waarop de activiteit der daemonen het duidelijkst tot uiting komt en waar zij hun ondanks den val toch nog altijd bovennatuurlijke vermogens het best kunnen ontplooien. Tegenover de zondige en zwarte magie der daemonen staat echter de geoorloofde z.g. witte of natuurlijke magie, die zich bedient van de wonderbaarlijke occulte vermogens die in sommige natuurproducten huizen; daar deze echter uiteraard ook ten dienste van de daemonen staan, is de onderscheiding niet steeds gemakkelijk.

87. Het is hier de plaats, iets te zeggen van den zin die aan het in verband met middeleeuwse beschouwingen en verklaringswijzen veel gebruikte woord occult in de werken der scholastieken zelf gehecht wordt. In den regel omschrijven zij een occulte eigenschap of een occult vermogen van een ding als een eigenschap of een vermogen waarvan door den mens op grond van de complexio van dat ding, d.w.z. op grond van zijn samenstelling uit de elementen, geen rekenschap kan worden gegeven. Zo is het vermogen van duivenbloed om vlekken uit het oog te verwijderen, geen

occulte eigenschap, omdat het verklaard kan worden uit de hitte en de vochtigheid van dat bloed, daarentegen het vermogen van een magneet om ijzer aan te trekken wel, omdat men dit niet kan afleiden uit de samenstelling van ijzer. Zo hebben ook medicijnen en kostbare stenen allerlei occulte vermogens, die niet het gevolg kunnen zijn van de qualiteiten der constituerende elementen; zij zijn slechts experimenteel vast te stellen en zij kunnen slechts veroorzaakt zijn door de werking van sterinvloeden bij het ontstaan dier stoffen.

Hoewel de meest verspreide, is dit niet de enige betekenis waarin het woord occult in de middeleeuwse terminologie voorkomt. Men ontmoet b.v. bij Roger Bacon de tegenstelling occult-manifest; occult beduidt dan niet rechtstreeks ervaarbaar, thuishorend in een voor de zintuiglijke ervaring ontoegankelijke en slechts door redenering te benaderen orde; in dezen zin van het woord is b.v. de substantiële vorm van een stof een occulte eigenschap. Elders betekent het woord alleen vreemd, onbekend: er is dan b.v. sprake van een *causa valde occulta et adhuc inaudita* (een onbekende oorzaak waarvan men tot dusver nog niets vernomen had).

Houden we ons aan de eerste betekenis van het woord dan zal het duidelijk zijn, dat het begrip hierin op volkomen subjectieve wijze wordt bepaald, doordat er slechts datgene buiten valt, wat men zich verbeeldt op grond van de onderstelde samenstelling van een stof uit de fictieve elementen van Aristoteles te begrijpen. Daar men dit echter, objectief beschouwd, voor geen enkele eigenschap doen kan, mogen in feite alle eigenschappen occult heten; het woord drukt dan alleen uit, dat we niet kunnen beredeneren, waarom de ene stof zich zus en de andere zich zo gedraagt, waarom suiker zoet is en sneeuw wit. In dezen zin kunnen we het woord nog tegenwoordig gebruiken; we kunnen immers geen enkele gewaarwordings-qualiteit uit de chemische structuur of physische toestand van een stof afleiden, dus b.v. begrijpen, waarom we bij licht met golflengte van 5890 A.E. de gewaarwording geel hebben en bij het samenklinken van twee tonen met frequentieverhouding 2: 1 de gewaarwording van een octaaf-interval. En in laatste instantie zouden we, ondanks allen spot van Molière, op de vraag, waarom opium slaap verwekt, geen ander antwoord kunnen geven dan dat van den Baccalaureus: *quia est in eo virtus dormitiva cuius est facultas sensus assoupire*; de vraag wordt alleen tegenwoordig niet meer gesteld; men constateert dat opium slaap verwekt of wijst er de bestanddelen in aan, waarvan men dit kan constateren.

88. Natuurlijke magie is dus niets anders dan de ervaringswetenschap die kennis verzamelt van de eigenschap van natuurlijke stoffen van planten, kruiden, stenen enz. Willem van Auvergne, die in zijn werk *De Universo* uitvoerig over het verschil tussen deze en de zwarte magie spreekt, zet uiteen, dat die eigenschappen vaak zo wonderbaarlijk lijken, dat ze op onwetenden den indruk maken, het werk van goden of daemonen te zijn; het is echter de onuitputtelijke rijkdom van de schepping, die ze langs

natuurlijken weg voortbrengt. Deze natuurlijke magie bevat dan ook niets dat beledigend zou kunnen zijn voor den Schepper, tenzij men haar voor verkeerde doeleinden zou willen gebruiken. Over haar handelen de talrijke z.g. experimenteerboeken, waarin het verzamelde feitenmateriaal wordt meegedeeld.

We stoten hier weer op het in de Middeleeuwen zo intens levende streven naar het verzamelen van een natuurwetenschappelijke feitenkennis, maar moeten dan ook weer dadelijk den eigenaardigen trek van den middeleeuwsen geleerde opmerken die steeds weer verhinderd heeft, dat door dat verzamelen een werkelijke, zij het dan ook slechts empirisch verworven wetenschap ontstond: het is zijn mateloze lichtgelovigheid, zijn onbegrensd vertrouwen op de autoriteit van antieke auteurs of op uitheemse berichten, zijn door het ontbreken van de nodige wetenschappelijke criteria verscherpt gemis aan kritische gezindheid. Zodra b.v. Willem van Auvergne voorbeelden van natuurlijke magie gaat noemen, zijn we geheel in de spheer van de middeleeuwse wonderverhalen: de dodelijke werking van den blik van den basilisk, het spirituele vermogen van het kleine visje echinus om grote schepen vast te houden, de verlenging van het leven door slangenvlees enz. enz.

Dat neemt niet weg, dat het begrip natuurlijke magie een alleszins gewettigde conceptie was: het vormt de erkenning van het wonderbaarlijke, d.w.z. logisch niet afleidbare karakter der natuurverschijnselen, gepaard aan het inzicht, dat het onderzoek daarvan geen zondige poging is om door te dringen in gebieden die het menselijk denken niet behoort te betreden, maar een volkomen geoorloofde bevrediging van een natuurlijke begeerte naar weten.

Willem van Auvergne rekent tot de natuurlijke magie ook den z.g. *sensus naturae* of het vermogen tot natuurlijke divinatie, waaronder hij verschijnselen als deze rekent, dat men iemands nabijheid voelt, dat gieren schijnen te weten wanneer er een veldslag op komst is, schapen in de verte een wolf ontwaren, enz.

89. We wezen boven reeds op de grote moeilijkheid om witte en zwarte magie van elkaar te onderscheiden. Wanneer b.v. de z.g. *specularii* na langdurig turen op een spiegelend oppervlak iets toekomstigs gaan voorspellen, geschiedt dit dan met of zonder hulp van daemonen? Problemen als deze zijn van grote betekenis voor de practijk van het kerkelijk leven en het is dan ook geen wonder, dat de bisschop van Parijs er zoveel aandacht aan besteedt. Er bestaat immers een kerkelijke magie, die ondanks uiterlijke gelijkenis met de zwarte daarvan evenveel verschilt als het licht van de duisternis. Zij is werkzaam in exorcismen, in het luiden van gewijde klokken ter voorkoming van storm, in het gebruik van wijwater en zout tot het uitdrijven van daemonen. Wanneer de Paus wassen beeldjes van lammeren wijdt, worden deze langs den allerlegitiemsten weg tegen onweer behoed. Maar wanneer het waar is, dat Nectanebo schepen tot

zinken kon brengen door wassen afbeeldingen daarvan in water te werpen, dan is daarbij toch zeker hulp van daemonen in het spel geweest.

Wegens de grote moeilijkheid, die aan de onderscheiding van witte en zwarte magie verbonden was, bleef het natuurlijk altijd een hachelijke onderneming, zich al te zeer met het onderwerp bezig te houden. Dat heeft b.v. Albertus Magnus moeten ondervinden, wiens intense belangstelling in de natuur hem ook tot het onderzoek van de wonderen der magie bracht en die daaraan de reputatie te danken heeft, dat hij zelf een magiër was[63].

Albert houdt zich aan de algemene opvatting, dat diabolische magie een zeer reëel bestaan bezit. De wonderbaarlijke prestaties die de daemonen weten te verrichten, moeten echter, meent hij, worden verklaard als uiterst snel verlopende natuurlijke processen, die zij met behulp van sterinvloeden in het leven kunnen roepen. Zo is de verandering van een stok in een slang door de magiërs van Pharao op te vatten als een versnelde vorm van het ontstaan van wormen in rottend hout. Met Willem van Auvergne erkent hij echter ook de natuurlijke magie, waarin eveneens astrale invloeden werkzaam kunnen zijn; dit is b.v. het geval bij het vervaardigen van *imagines*, afbeeldingen in steen gesneden bij bepaalde constellaties, die als amulet kunnen worden gedragen.

Nergens wordt het zo duidelijk als bij Albert, hoe moeilijk het was, de grens tussen geoorloofde en zondige magie te bepalen. Het lag voor de hand, dat een onderzoekende geest de beweringen der magiërs op de proef ging stellen en dat hij zodoende het verband tussen magie en experimentele natuurwetenschap nog weer nauwer maakte dan het al was; maar ook dat wantrouwende theologen al aan magie dachten, wanneer er een onschuldige proef gedaan werd. Vandaar dan ook, dat natuuronderzoekers zo vaak van magie beschuldigd zijn. We merkten het bij Gerbert op en het is lang niet onwaarschijnlijk, dat hier ook een reden ligt, waarom Albert in tegenstelling tot zijn leerling Thomas niet reeds in de Middeleeuwen gecanoniseerd is (eerst in 1931 heeft zijn heiligverklaring plaats gehad).

Men moet zich in ieder geval wel hoeden voor de opvatting, als zoude iedere beschuldiging van magie slechts het gevolg zijn geweest van een uit boosaardigheid of wanbegrip voortspruitende ongunstige interpretatie van experimentele werkzaamheden die in de nieuwere natuurwetenschap een legitieme plaats zouden hebben verdiend. Veeleer is het zo, dat personen die thans als voorlopers of pioniers van de natuurwetenschap worden geëerd - Albertus Magnus en Roger Bacon zijn er twee illustre voorbeelden van - tot op zekere hoogte ook adepten van de verleidelijke kunst der magie waren, waarbij we de vraag, of die magie nu wit of zwart, Christelijk of diabolisch was, maar in het midden zullen laten.

J. Alchemie

90. Wij kunnen over dit onderwerp voor ons doel kort zijn, omdat de Middeleeuwen op het stuk van alchemie eigenlijk geen enkel nieuw gezichtpunt hebben geopend. Men kan in het algemeen veilig zeggen, dat de grondgedachte, de mogelijkheid van transmutatie via de materia prima of van rechtstreekse metaalveredeling, onvoorwaardelijk geloof vond en dat dus ook het zoeken naar den Steen, mede in zijn qualiteit van levenselixir of panacea, als een nobel en legitiem doelwit van het empirische natuuronderzoek werd beschouwd. Overigens leidden de lichtgelovigheid van den middeleeuwsen geleerde en zijn heilig respect voor overgeleverde werken van antieken of Arabischen oorsprong er toe, dat allerlei alchemistische phantasieën zonder kritiek of toetsing aan eigen ervaring telkens weer werden overgeschreven en, al dan niet vervormd, voor volgende generaties bewaard bleven. Daarbij neemt het element van charla-tanerie en winstbejag hand over hand toe, wat aan het aanzien van het vak niet ten goede kwam. Het gehele onderwerp, dat zich in zijn oorspronkelijken opzet wel voldoende in het kader van het algemeen wijsgerige en natuurwetenschappelijke denken liet inpassen om op een zekere mate van begrip en waardering aanspraak te kunnen maken, daalt daardoor hoe langer hoe meer af tot den rang van een minder verkwikkelijk verhaal van ontaarding der wetenschap. Om er zich met den nodigen ernst in te kunnen verdiepen, moet men bepaald al òf een zekere belangstelling in de pathologie van het denken bezitten òf met C.G. Jung het onderwerp in verband kunnen brengen met de denkbeelden van de hedendaagse dieptepsychologie.

91. Men ziet zich dan echter al spoedig voor de moeilijkheid geplaatst, dat de authenticiteit van de werken die voor de kennismaking met de middeleeuwse alchemie in aanmerking komen, aan zoveel twijfel onderhevig is. Vroeger kon men zich overtuigd voelen, dat men van zes belangrijke figuren van de dertiende-eeuwse Scholastiek (Albertus Magnus, Thomas van Aquino, Vincent van Beauvais, Roger Bacon, Raymund Lull, Arnold van Villanova) geschriften bezat waaruit men ten eerste kon opmaken, wat zij uit Arabische bronnen hadden overgenomen en vervolgens, welke denkbeelden op het gebied der alchemie zijzelf koesterden. De tegenwoordige historici zien zich echter verplicht, voor elk dier verhandelingen de vraag te stellen, of zij waarlijk wel afkomstig is van wie als haar schrijver geldt, en deze vraag in de meeste gevallen ontkennend te beantwoorden. Er is nu eenmaal geen enkel gebied in de wetenschappelijke literatuur waarop het onderschuiven van geschriften aan oudere geleerden met een groten naam zulk een omvang heeft bezeten als dat der alchemie. Dit maakt de toch al zo ondankbare taak, in den baaierd dien de alchemistische theorieën der Middeleeuwen vormen, enige redelijke orde te scheppen, nog minder aanlokkelijk.

K. Een conflict tussen wijsbegeerte en theologie[64]

92. Volgens Thomistische opvatting vervullen de wijsbegeerte en de met haar in verband staande vakwetenschappen ten opzichte van de theologie een dienende functie en worden ze voor dien dienst beloond met een waarborg tegen afdwaling van het pad der waarheid. Het lijdt geen twijfel, of de beoefening van wijsbegeerte en vakwetenschap is door deze ancilla-domina verhouding vaak bevorderd: het heilsverlangen prikkelde indirect tot intellectuele inspanning. Aan den anderen kant behoeft het niet te verwonderen, dat de relatie in de practijk niet altijd zo idyllisch is geweest als de theorie haar schetst. Het philosophisch denken was immers, zoals we reeds opmerkten, in zoverre onafhankelijk, dat specifiek-theologische argumenten er niet in werden geduld; het kon dan echter nauwelijks uitblijven, dat het, eigen wegen bewandelend, wel eens tot resultaten kwam die door de theologen als onjuist en gevaarlijk werden beschouwd.

Deze situatie heeft zich tegen het einde van de dertiende eeuw in uitgesproken vorm voorgedaan. De bisschop van Parijs, Etienne Tempier, had van den Paus, Johannes XXI, de opdracht gekregen, een onderzoek in te stellen naar de wijsgerige denkbeelden die aan de Universiteit van Parijs gehuldigd werden en deze op hun rechtzinnigheid te toetsen. Tempier, die als tyranniek en geneigd tot eigenmachtig optreden geschilderd wordt, schijnt aan die opdracht de bevoegdheid te hebben ontleend, de conclusies waartoe hij in overleg met een raad van doctoren der theologie en andere deskundigen gekomen was, in 1277 in den vorm van een eigen decreet te publiceren; hij veroordeelde daarin 219 in bonte volgorde opgesomde stellingen op wijsgerig en natuurwetenschappelijk gebied en legde iedereen die een dezer dwalingen had uitgesproken of aangehangen, de verplichting op, zich deswege bij hem aan te melden om zijn straf te ontvangen.

De dogmatische waarde van het decreet van Tempier is van het begin af betwist; met name werd er felle oppositie tegen gevoerd door de orde der Dominicanen in verband met het feit, dat circa twintig van de veroordeelde stellingen bleken toe te behoren aan Thomas van Aquino en zelfs essentiële trekken van zijn stelsel bleken te betreffen. Tempier kreeg dan ook spoedig opdracht van de Curie, zijn actie te staken en verdere orders af te wachten.

Hoewel de Kerk als zodanig zich dus niet had uitgesproken en het decreet in 1325 ook werd herroepen, heeft Tempier's uitspraak van 1277 toch een sterken invloed op de beoefening van de wijsbegeerte aan de Universiteit van Parijs en daardoor indirect op die van Engelse en Duitse Universiteiten uitgeoefend en ook duidelijk in de ontwikkeling der natuurwetenschappelijke denkbeelden ingegrepen.

We kunnen die uitwerking van zijn optreden hier uiteraard niet in details nagaan en moeten ons dus beperken tot een algemene karakteristiek en tot enkele speciale punten van natuurwetenschappelijk belang.

93. De algemene strekking van het decreet is te karakteriseren als een reactie van de traditionele, overheersend Augustijns georiënteerde, theologie op wat zij zag als een al te grote vrijmoedigheid en eigengerechtigheid van de in wijsbegeerte en natuurwetenschap zelfstandig werkzame menselijke rede. Dat de aanhangers van de Averroistische interpretatie der Aristotelische philosophie (met name Siger van Brabant en zijn kring) de leer van de dubbele waarheid huldigden en dus volhielden, dat iets wel waar kon zijn in de theologie, maar niettemin onwaar volgens het redelijk denken en omgekeerd; dat zij onder dezen dekmantel meningen uitspraken die met de geloofsleer in strijd waren; dat uit naam van de Aristotelische physica grenzen werden gesteld aan God's almacht; dat alles moest den orthodoxen theologen een doorn in het oog zijn. En eenmaal opmerkzaam geworden op zo menige opvatting die van rechtzinnig standpunt uit niet te aanvaarden was, vond men er ook in de geschriften van andere bekende tijdgenoten; we zagen reeds - het klinkt tegenwoordig haast ongelooflijk - dat ook Thomas door de veroordeling werd getroffen, terwijl ook de Augustijn Aegidius Romanus niet vrij uitging en de denkbeelden van Roger Bacon zelfs veel kritiek moesten verduren.

Voorzover de uitspraken van Tempier de natuurwetenschap in engeren zin betreffen, hebben ze voornamelijk betrekking op die kosmologische problemen die naar hun aard nauw met het geloof samenhangen, zoals vragen naar het ontstaan van de wereld en haar begrenzing in ruimte en tijd. Van groot historisch belang zou de veroordeling blijken te zijn van de stelling[65]:

> 49 (= M. 66). Dat God den hemel niet in rechtlijnige eenparige beweging zou kunnen brengen; voor welke stelling als argument aangevoerd blijkt te zijn, dat er anders een vacuum over zou blijven.

Op astronomisch gebied is verder van belang, dat afgekeurd werden:

> 92 (= M. 73). Dat de hemellichamen door een intrinsiek principe, een ziel, bewogen worden.

en de theorie van den eeuwigen terugkeer:

> 6 (= M. 92). Dat wanneer alle hemellichamen weer tot hetzelfde punt terugkeren, hetgeen om de 36000 jaar gebeurt, dezelfde gebeurtenissen zich zullen herhalen.

In tal van uitspraken komt een duidelijke anti-Aristotelische strekking tot uiting. Men mag niet aannemen, dat de menselijke wil onderworpen zou zijn aan de macht der hemellichamen (162 = M. 154), evenmin dat de intelligentie die de hemelen beweegt, invloed zou kunnen uitoefenen op de rationele ziel en de hemellichamen dit op het menselijk lichaam zouden doen (74 = M. 76), dat de verschillende tekens van den dieren-

riem omstandigheden in den mens zouden bepalen, zowel wat geestesgaven als wat tijdelijk goed betreft (143 = M. 104).

Hoe sterk dit alles echter ook wordt afgekeurd, toch kunnen ook Tem-pier en zijn raadslieden zich niet geheel aan de fascinerende werking van het astrologisch denken onttrekken. Wanneer eerst als dwaling is afgekeurd:

> 207 (= M. 105). Dat in het geboorteuur van den mens in zijn lichaam en daardoor in zijn ziel, die het lichaam volgt, door de werking van oorzaken van hogere en lagere dingen een dispositie aanwezig is die hem tot bepaalde handelingen of gebeurtenissen geneigd maakt.

wordt er de restrictie aan toegevoegd:

> Behalve voorzover dit verstaan wordt van natuurlijke gebeurtenissen en langs den weg van dispositie.

Het is niet duidelijk wat hiermee eigenlijk bedoeld wordt, maar de bereidheid om toch een astralen invloed van blijvende betekenis in het geboorteuur aan te nemen, is onmiskenbaar.

We zullen in het volgende in het bijzonder aandacht moeten besteden aan de kwesties, die in stelling 49 (M. 66) zijn aangeroerd: de mogelijkheid van een rechtlijnige beweging van het heelal en die van een vacuum. De veroordeling van de stelling, waarin de ontkenningen van beide zo nauw met elkaar in verband worden gebracht, heeft verscheidene scholastici aanleiding gegeven, zich nader in deze kwestie te verdiepen. Daar de eerste samenhangt met de wijsgerige behandeling van het begrip locale beweging en de tweede met de verklaring van pneumatische verschijnselen, zijn ze beide van historisch belang voor de ontwikkeling der natuurwetenschap.

De discussie is voornamelijk in de veertiende eeuw gevoerd. Voordat we er op ingaan, zal het wenselijk zijn, eerst iets over het natuurwetenschappelijk denken in deze eeuw te zeggen.

Eindnoten:

1 Kleutgen, Mandonnet, Sassen (2), Ueberweg-Geyer.
2 Felder, Mandonnet.
3 Kleutgen, Mandonnet.
4 Thomas Aquinas (1) Qu. I; art. 8 ad 2. Opera IV 22.
5 Siger van Brabant, *Quaestiones de anima intellectiva*. Mandonnet II 153-154.
6 Thomas Aquinas (3) I, c. 10. Lectio XXII, 8. Opera III.
7 Thomas Aquinas, *De substantiis separatis*, c. 7. (4) 100.
8 Thomas Aquinas (5) I, Lectio II; c. 30.
9 Zie noot 5.
10 Thomas Aquinas. *De unitate intellectus contra Averroistas Parisienses*. (4) 69.
11 Thomas Aquinas (2). II, c. 2, 3. 136-37.
12 De geciteerde passages zijn opv. ontleend aan:
De Caelo et Mundo. Liber I. Tract. IV c. 10. Jammy II b 75.
De Mineralibus. Liber II. Tract. I c. 1. Jammy II e 227.
Physica. Liber VIII. Tract. II c. 2. Jammy II a 339.
De Natura Locorum. Tract. I c. 1. Jammy V 263.
De Animalibus. Liber XI. Tract. I c. 1. Jammy VI 321.

Ethica. Liber VI. Tract. II c. 25. Jammy IV 250.
De Mineralibus. Liber II. Tract. I c. 1. Jammy II e 223.
De Mineralibus. Liber II. Tract. II c. 1. Jammy II e 238.

13 Cantipratensis Thomas, *Bonum universale de apibus* II 57. Mandonnet I 35.
14 Albertus Magnus, *In Epistolas B. Dionysii Areopagitae*, Ep. VIII 2. Mandonnet I 36, n. 1.
15 Roger Bacon, Carton, Hoffmann H., Little, Thorndike, Vogl.
16 Roger Bacon, *Epistolae de secretis operibus artis et naturae, et de nullitate magiae* c. 4-6. (2) 532-538.
17 Roger Bacon, *Opus Minns*, Pars I, c. 1-32. (1) I.
18 Roger Bacon, *Opus Minus*. (2) 322-359.
19 Felder 414, n. 4.
20 Roger Bacon, *Compendium Studii Philosophiae*. (2) 469. Even verder zegt Bacon, dat hij, indien hij de macht daartoe had, alle werken van Aristoteles zou laten verbranden; deze passage wordt wel eens aangehaald als een uiting van oppositie tegen het systeem van den Stagiriet. Dat is ze echter helemaal niet, want hij laat er dadelijk op volgen: Et quoniam labores Aristotelis sunt fundamenta totius sapientiae... Elders heet Aristoteles summus philosophorum. *Opus Tertium* (2) 6. Zijn ergernis geldt alleen de slechte vertalingen van de werken van den Stagiriet.
21 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars I, c. 2. (1) I, 4-6.
22 Roger Bacon, *Opus Tertium* 8. (2) 24. *Opus Maius*, Pars VI, Exemplum II. (1) II, 211. Verhalen over vliegende draken, waarop Aethiopische wijzen rijden en waarvan ze het vlees toebereiden als middel om het leven te verlengen en het intellect te versterken, ibid. 202, 219.
23 Roger Bacon, *Compendium Studii Philosophiae*, c. 1. (2) 397-98.
24 Zo vormen de (echter aan Seneca ontleende) woorden *quanto juniores tanto perspicaciores, Opus Maius*, Pars I, c. 6. (1) I 13, een anticipatie van Francis Bacon's *Antiquitas saeculi juventus mundi* (IV: 184).
25 Uit den overvloed van bewijsplaatsen vermelden we:
Opus Maius, Pars II, c. 14. (1) I 56 = III 69 (c. 15).
Opus Maius, Pars II, c. 17. (1) I 64 = III 79 (c. 19).
Opus Tertium c. 5, 15, 24. (2) 20, 53, 82.
26 De opsomming van de zeven zonden der theologische studie (*Opus minus* (2) 322-359) culmineert in den eis *Oportet theologum scire omnia* (358).
27 Little 304.
28 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars VI. (1) II 167-222. *Opus Tertium* c. 13. (2) 43-47.
29 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars VI, Exemplum II. (1) II 204-213.
30 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars VI, Exemplum I. (1) II 203.
31 Roger Bacon, *Opus Minus. An unpublished fragment*, ed. Gasquet. English Historical Review XII 494-516. Taylor II 535. Verg. *Opus Tertium* c. 13. (2) 45.
32 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars VI, c. 2-12. (1) II 173-201.
33 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars VI, c. 1. (1) II 169.
34 ibidem.
35 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars II, c. 5. (1) I 38-39. *Opus Tertium*, c. 23. (2) 74.
36 Thorndike II 751.
37 Over Bacon's astrologische denkbeelden *Opus Maius*, Pars IV. (1) 238-269; 376-404.
38 Roger Bacon, *Opus Tertium*, c. 13. (2) 46-47.
39 *Analecta Franciscana* III (1897) 360.
40 G. Delorme in *Dictionnaire de Théologie Catholique* T. II s.v. Bacon.
41 Roger Bacon, *Compendium Studii Philosophiae* c. 1. (2) 399.
42 Duhem in Little X. De Waard (2).
43 Roger Bacon, *Quaestiones naturales*. Duhem (3) 256. Bacon spreekt verder over dit onderwerp *Opus Maius*, Pars IV, c. 9. (1) II 148 vgl. *Opus Tertium* c. 43-45. (2) 153-167. *Communia Naturalium* I, Pars III, c. 4-6. (3) 206-224.
44 *Summa Philosophiae*, c. 118, 181, 244, 245. Baur (1) 417, 510 590, 591. Adelard van Bath in *Quaestiones Naturales*. Thorndike II 37.
45 Duhem (3) 273.
46 Baeumker, Krebs, Vogl, Wiedemann, Würschmidt.
47 Roger Bacon, *De multiplicatione specierum*. (1) II 471.
48 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars V, Dist. II, c. 4. (1) II 157.
49 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars V, Dist. III, c. 4. (1) II 165.
50 Baur (2) 119-130.
51 Krebs.
52 Roger Bacon, *De multiplicatione specierum* (4). *Opus Maius*, Pars IV, Dist. II, c. 1. (1) I 109 vlg. *Opus Tertium* c. 31. (2) 107 vlg. Grosseteste. Baur (2) 99.
53 Baur (1).
54 Baeumker 357-437.
55 Petrus Peregrinus. Den modernen herdruk door G. Hellmann in *Rara Magnetica* heb ik niet kunnen raadplegen. Picavet (2), Schlund, Wenckebach.

56 Wenckebach.
57 Duhem (6) III 259.
58 Thorndike, Wedel.
59 Albertus Magnus, *Summa Theologiae. De Fato*. Thorndike II.
60 Roger Bacon, *Opus Maius*, Pars IV. *Judicia Astronomiae*. (1) I, 254-269. Pars VII. (1) II 371. Cassirer (2) 113. Thorndike II 672. Wedel 73.
61 Mandonnet 171.
62 Rydberg, Thorndike.
63 Hij geniet de reputatie: magnus in magia, in magicis expertus.
64 Duhem (2), Mandonnet.
65 Wij geven de oorspronkelijke nummering en die volgens Mandonnet II 175-191, aangeduid door M.

V. De natuurwetenschap in de veertiende eeuw

A. Kritiek en twijfel[1]

94. Men pleegt in de geschiedenis der wijsbegeerte de dertiende eeuw en wel in het bijzonder de periode van Albertus Magnus en Thomas van Aquino als hoogscholastiek te onderscheiden van een daaraan voorafgaand tijdperk van voorbereiding en een er op volgend van verval. Dat heeft zijn goede gronden: het bekend worden van de volledige philosophie van Aristoteles en het gebruik, dat de grote doctores daarvan hebben gemaakt, heffen inderdaad de dertiende eeuw op een niveau dat in intellectueel opzicht het vroeger bereikte verre overtreft. En het is niet minder waar, dat de latere generaties der scholastici er niet in geslaagd zijn, dit peil verder omhoog te voeren. De veertiende eeuw wordt veeleer gekenmerkt door een geest van kritiek en twijfel, die ook het harmonische stelsel van Thomas niet zou sparen en die op den duur tot ondermijning van het trotse bouwwerk der hoogscholastieke wijsbegeerte voeren moest.

Men moet zich nu echter hoeden voor de fout, te menen, dat de decadentie van het wijsgerig-theologisch denken, die de historici met zoveel leedwezen vaststellen, ook een achteruitgang zou hebben betekend voor de natuurphilosophie en de natuurwetenschap. Het tegendeel is het geval. Nergens zijn de Middeleeuwen dichter genaderd tot de physica zoals ze in de 16e en 17 eeuw worden zou, dan in het werk van een groep denkers die in de veertiende eeuw aan de Universiteit van Parijs werkzaam waren of daar hun opleiding hadden ontvangen: Johannes Buridan, Albert van Saksen, Nicolaas van Oresme en Marsilius van Inghen, die allen gezamenlijk weer als leerlingen of volgelingen van de centrale figuur der veertiende-eeuwse scholastiek, Willem van Ockham, te beschouwen zijn.

95. Voor dit samentreffen van achteruitgang in het theologisch-wijsgerige en bloei in het natuurwetenschappelijke schijnt een verklaring voor de hand te liggen. We spraken reeds van den geest van twijfel en kritiek, dien men kenmerkend noemt voor het veertiende-eeuwse denken. Zulk een geest moge desastreus zijn geweest voor de Thomistische harmonie tussen geloven en weten, voor de natuurwetenschap schiep ze een atmospheer die wel niet voldoende was om haar groei te bevorderen, maar wel nodig om de belemmeringen weg te nemen die aan dien groei in den weg stonden. Het onbevangen aanvaarden van de ongecontroleerde en ongeanalyseerde dagelijkse ervaring van de natuurverschijnselen leidt maar al te gauw op dwaalwegen en wanneer die onbevangenheid gesystematiseerd wordt tot een wijsbegeerte als de Aristotelische, wordt het al heel moeilijk, dien dwaalweg te verlaten. In de natuurwetenschap der Middeleeuwen moesten twijfel en kritiek eerst hun destructief werk verrichten, voordat op de puinhopen die zij overlieten, het bouwwerk van

een nieuwe wetenschappelijke beschouwingswijze kon worden opgetrokken.

Bij nader onderzoek blijkt echter deze voorstelling van den gang van zaken al te eenvoudig te zijn. Wie van twijfel en kritiek spreekt, moet zich eerst de vraag voorleggen, waaraan getwijfeld wordt en waarop de kritiek zich richt. Stelt men die vraag echter voor de veertiende eeuw, dan blijkt, dat zij geen betrekking hadden op de onvoldoende natuurkennis van de dertiende of op de ontoereikendheid van de toegepaste methode van natuuronderzoek, maar op de te hoge positie die de systeembouwende doctores naar het oordeel van de na hen komenden in hun theologisch denken aan de menselijke rede hadden toegekend. De kritiek richt zich voor alles op het intellectualistisch karakter der Thomistische synthese, op de aanspraak die de menselijke rede er volgens Thomas op mag maken, althans een deel der geloofswaarheden uit eigen kracht te kunnen inzien. Zij valt den mens dus aan in zijn intellectuele pretenties en vermaant hem tot een bescheidener gebruik van zijn redelijke vermogens. Men kan met recht vragen, of een dergelijke kritische gezindheid nu eigenlijk zo bevorderlijk was voor de natuurwetenschap.

Dat ze ten slotte toch een gunstige wending in het natuurwetenschappelijk denken teweeg moest brengen, is echter psychologisch wel te verklaren. De twijfel of de menselijke rede wel zoveel kon presteren als waartoe Thomas haar in staat had geacht, b.v. het bestaan, de enigheid en de oneindigheid van God bewijzen, en het daaruit voortvloeiend postulaat van een volstrekte scheiding tussen geloven en redelijk denken, onthief vooreerst de rede van een taak die haar toch altijd al zwaar was gevallen en maakte daardoor wellicht geestelijke energie vrij, die haar in staat stelde, andere, wel binnen haar bereik liggende, problemen met meer kans op succes aan te pakken. Vervolgens werd de natuurwetenschap er door bevrijd, nog wel niet direct uit den knellenden band dien haar te nauwe relatie tot de Aristotelische wijsbegeerte vormde, maar toch al wel van de indirecte binding aan het bovennatuurlijke die zij door die relatie ook verkregen had. En ten slotte zou het al vreemd zijn geweest, indien een stemming van kritiek op het denken, eenmaal opgewekt, zich zou hebben beperkt tot het ene onderwerp, dat de redelijke fundering van het geloof vormde en zich niet tevens zou hebben gericht op wat het in wijsgerig en vakwetenschappelijk opzicht meende bereikt te hebben. Zodat de aanvankelijk gegeven verklaring van den gunstigen invloed van de decadentie der scholastiek op de ontwikkeling der natuurwetenschap ten slotte toch een kern van waarheid blijkt te bevatten.

96. Wellicht is het echter mogelijk, haar nog op een andere wijze aan te vullen. Het optreden van Willem van Ockham[2] vormt een hoogtepunt van een scholastieke denkrichting die men in haar verschillende vormen door den verzamelnaam nominalisme pleegt aan te duiden. Het is hier niet de plaats, uitvoerig in te gaan op het z.g. probleem der universalia,

waarvan zij een oplossing bedoelde te geven en op de andere, onder den naam realisme samen te vatten, wijzen waarop men die oplossing beproefd had. Waar het voor ons doel op aankomt is, dat het nominalisme bezwaar maakte tegen de in het realisme tot uiting komende wijsgerige neiging om aan algemene begrippen een zekere metaphysische realiteit toe te kennen. Het is de neiging die Plato tot zijn ideeënleer gebracht had en die men dan ook in de Middeleeuwen in haar extreemste uitingen overal daar aantreft, waar zijn invloed werkzaam is. Waar het Aristotelisme heerste, had ze zich zeer gematigd; toch werd ook hier naar nominalistisch oordeel bij een algemenen term nog te veel gedacht aan één enkele werkelijkheid die in verschillende dingen bestaat. Volgens de nominalistische opvatting bestaat die werkelijkheid uitsluitend in ons denken; haar daarbuiten nog eens een bestaan toe te kennen, zou een overbodige verdubbeling betekenen, een schending van het denkoeconomisch principe: *entia non multiplicanda praeter necessitatem* (niet meer dingen invoeren dan nodig is).

Om het bovenstaande aan een eenvoudig voorbeeld toe te lichten, beschouwen we b.v. het begrip hond. Dit beduidt een zekere algemene voorstelling in onzen geest op grond waarvan we (moeilijkheden in grensgevallen voorbehouden) aan bepaalde levende wezens den naam hond toekennen, terwijl we dezen aan andere onthouden. De voorstelling hond is nu volgens de opvatting van Ockham een natuurlijk teken (*signum*) voor al die dieren waarvan we zeggen: ‘dit is een hond’, waarvan we dus het hond-zijn praediceren. Van het natuurlijk teken hond, dat een bewustzijnsinhoud (*intentio animae* of *conceptus*) is, wordt het geschreven of uitgesproken woord hond als conventioneel teken onderscheiden. De eigenlijke kwestie is nu deze, of naast de voorstelling hond, die voor een veelheid van dieren als gemeenschappelijk teken fungeert (een *universale in significando*) en die aanleiding geeft, over al die dieren het oordeel: ‘dit is een hond’ uit te spreken (een *universale in praedicando*), ook nog een *universale in essendo*, een buiten onzen geest bestaand wezen hond, moet worden aangenomen. De extreme realisten beamen dit en beschouwen dit *universale ante rem* (een universale vóór het individuele ding) hetzij als een Platonische idee hetzij als een oerbeeld in God's geest (exemplarisme); de gematigde realisten menen, dat in alle honden iets gemeenschappelijks is (*universale in re*), namelijk het hond-zijn, datgene wat hen tot hond stempelt; dit is voor hen het universale in essendo. Zij werpen de nominalisten tegen, dat er toch geen motief zou bestaan, verschillende dingen met een gemeenschappelijken naam te benoemen, wanneer deze daartoe geen aanleiding gaven door wat ze gemeen hebben.

Voor het boven omschreven standpunt van Ockham past de term conceptualisme beter dan nominalisme; dit laatste woord wekt de gedachte aan een waarschijnlijk meer als denkmogelijkheid dan als werkelijke leer verkondigde opvatting, dat de eigenlijke universalia alleen namen zijn,

waarmee we veelheden van dingen aanduiden. Door Ockham wordt deze opvatting echter bestreden.

97. Het conceptualisme van Ockham schept ongetwijfeld een denkspheer die in vele opzichten verwant is met die van de latere, speciaal die van de hedendaagse natuurwetenschap. Het verdiept zich niet in de vraag, wat de dingen eigenlijk (d.w.z. in een transcendente zijnswijze) zijn, maar stelt vast, dat we ze in bepaalde gevallen met bepaalde namen aanduiden. Dat men in onzen tijd niet meer de vraag stelt, wat electriciteit eigenlijk is, maar zich er toe bepaalt, om in gevallen, waarin bepaalde verschijnselen optreden, de woorden electriciteit en electrisch te gebruiken, zou voortreffelijk in Ockham's denkwijze gepast hebben.

Natuurlijk moet men zich hoeden voor de fout, den graad van de geconstateerde verwantschap te overdrijven; dat er echter verwantschap is, blijkt wel empirisch hieruit, dat telkens wanneer men bij een scholasticus van de veertiende of vijftiende eeuw getroffen wordt door een uitlating die met de hedendaagse physische denkbeelden harmonieert, men met een leerling of volgeling van den Venerabilis Inceptor te maken blijkt te hebben. En dat maakt tevens aannemelijk, dat de geest dien hij in het denken bracht, voor den groei der natuurwetenschap bevorderlijk zal zijn geweest.

Hiermee wordt echter niet meer bedoeld dan dat er in de veertiende eeuw omstandigheden hebben bestaan die, wanneer ook allerlei andere factoren hadden meegewerkt, wellicht reeds toen de herleving zouden hebben kunnen brengen die twee eeuwen later inderdaad gekomen is. Voorlopig echter waren er nog te veel belemmeringen die een onbevangen natuuronderzoek in den weg stonden.

98. Onder die belemmeringen moet vooral een zekere verstarring van het universitaire onderwijs worden genoemd, een onmatig gebruik van doceergewoonten die, hoewel in beginsel gezond en heilzaam, door hun al te consequente toepassing op den duur remmend waren gaan werken. Het behoorde namelijk reeds sedert de twaalfde eeuw tot de traditie van de scholastiek, zich te bedienen van de vooral door Abaelardus voorgestane z.g. sic-et-non methode; het beginsel daarvan was, dat men bij de behandeling van een onderwerp alle meningen die er ooit over waren uitgesproken en alle argumenten die voor of tegen een bepaalde opvatting pleitten, zo volledig mogelijk opsomde en besprak. Men zou van een proen-contra methode kunnen spreken, maar men geeft de ware toedracht nog beter we er door de volgorde om te keren, en dus het contra voorop te stellen: de schrijver of spreker vermeldde namelijk eerst alle meningen die naar zijn oordeel onjuist waren en pas wanneer hij deze alle had weerlegd, ging hij er toe over, uiteen te zetten wat hij er zelf van dacht, waarbij dan weer aan de positieve argumenten die voor die opvatting waren aan te voeren, een weerlegging van de bezwaren die er tegen in te brengen waren, voorafging. Deze methode had natuurlijk grote voordelen; ze ge-

tuigde van een streven naar objectiviteit en ze droeg er het hare toe bij, dat een eenmaal uitgesproken denkbeeld niet zo gauw weer in vergetelheid geraakte. Het is echter duidelijk, dat bij een al te degelijke toepassing de nadelen moesten overwegen.

Onhoudbare en reeds lang weerlegde theorieën werden telkens weer opgehaald om opnieuw weerlegd en verworpen te worden; in het algemeen werd een geesteshouding aangekweekt die meer op het verleden dan op de toekomst was ingesteld en die in verband met de algemeen gehuldigde overtuiging, dat de wetenschappelijke waarheden vroeger al eens alle bekend waren geweest en dat het er om te doen was, ze terug te vinden, het onderzoek juist in de verkeerde richting stuwde. Men besefte niet, dat de wetenschap altijd in de toekomst ligt.

99. Een tweede bezwaar bestond in de zeer prominente plaats, die het mondeling dispuut in de practijk van het onderwijs innam. Ook hier leidde een op zich zelf juist denkbeeld, de stimulerende en verhelderende werking van de mondelinge gedachtenwisseling, door onmatige toepassing tot het tegendeel van wat beoogd was. Door het vele disputeren (*militare in scholis*), waarbij het behaalde succes over de carrière besliste, kwam het er onvermijdelijk toe, dat men ging redetwisten om uit te blinken en den tegenstander te verslaan en dat de vraag naar de waarheid op den achtergrond werd gedrongen. In het algemeen had de middeleeuwse methode van universitair onderwijs het grote nadeel, dat ze veel te veel op prikkeling van de menselijke ijdelheid gericht was: schrijvers van boeken werden er toe verleid, den lezer te verbluffen door de veelzijdigheid van hun kennis van verschillende theorieën en de vaardigheid waarmee ze deze weerlegden; jonge geleerden die vooruit wilden komen, moesten schitteren in het debat.

100. Een van de fatale gevolgen van deze dialectische orgieën is ook, dat het vaak zo moeilijk valt, het ware inzicht te krijgen in wat een auteur nu eigenlijk werkelijk denkt. Dezelfde moeilijkheden die de leer van de dubbele waarheid in de dertiende eeuw had opgeleverd, keren terug, wanneer men auteurs in de veertiende die door de kerkelijke overheid ter verantwoording worden geroepen over door hen uitgesproken theologisch aanvechtbare meningen, zich hoort verontschuldigen met de bewering, dat ze dat alles slechts *gratia exercitii, probabiliter* of *disputationis causa* hebben volgehouden, maar zonder het als waar te willen beweren (*asserere*) en dat ze in werkelijkheid niet in het minst zijn afgeweken van wat de H. Kerk hun voorhoudt te geloven. Men verkeert hier steeds in het onzekere, in hoeverre er inderdaad disputeerlust in het spel is geweest en in hoeverre twijfel die zich tegen de waarheid en niet langer tegen de redelijke bewijsbaarheid van het geloof richt, zich om de te vrezen gevolgen achter de aangehaalde verontschuldigingen verschuilt.

In ieder geval is de toestand deze, dat wanneer een veertiende-eeuws scholasticus maar eerst heeft verklaard, dat men wat hij gaat zeggen niet

als een ware bewering moet beschouwen, maar als een mening waar men argumenten voor en tegen bij kan aanhalen, en hij maar eerst zijn bereidwilligheid heeft uitgesproken, zich te onderwerpen aan een kerkelijke uitspraak die een beslissing zal geven, hij alles in twijfel durft trekken, zodat men soms eerder met een achttiende-eeuwsen rationalist of een negentiende-eeuwsen agnosticus te maken meent te hebben dan met een denker uit de middeleeuwen. Het bestaan van God, Zijn enigheid, Zijn almacht, Zijn alwetendheid, Zijn goedheid, de eindigheid der wereld, het bestaan van substanties buiten ons, de eindigheid van de keten der oorzaken, het is alles in het geding en van alles wordt de bewijsbaarheid ontkend. Men verklaart zich bereid te geloven, dat deze uitspraken alle waar zijn, maar legt er den nadruk op, dat men het slechts gelooft en niet tevens als waar inziet[3]. Openlijk wordt de traditionalistische opvatting van het geloof beleden. 'Wat de philosophen erover geschreven hebben,' aldus Holkot (die nog wel een ordebroeder van Thomas is), 'hebben zij overgenomen van de wetgevers of van anderen die daaraan voorafgingen, bij wie zekere vage sporen van de godskennis van onze eerste voorvaderen waren achtergebleven'[4]. Van het Thomistisch ideaal van een verzoening van geloof en wetenschap is niets meer over. Het gaat er niet meer om, de leer van Aristoteles en het Christendom met elkaar in overeenstemming te brengen, maar ze zo scherp mogelijk tegenover elkaar te stellen: de God der philosophen is een andere dan die der gelovigen.

B. Nicolaas van Autrecourt[5]

101. We treffen een merkwaardig voorbeeld van de boven in het algemeen geschetste situatie aan in het geval van Nicolaas van Autrecourt, die in 1346 door de Universiteit van Parijs genoodzaakt werd, een aantal stellingen op kentheoretisch en natuurwetenschappelijk gebied die aanstoot hadden gegeven door hun skeptische strekking, te herroepen. Ook hij beroept er zich op, dat hij al die afgekeurde meningen slechts *disputative* heeft verdedigd, maar geen er van in feite voor waar heeft gehouden en hij verklaart zich daarom ten volle bereid, ze in te trekken. Dat heeft hij dan ook openlijk gedaan en met eigen hand zijn geschriften aan de vlammen prijsgegeven. Wanneer het de bedoeling is geweest, daardoor de verdere verspreiding van zijn denkbeelden te beletten, heeft men verzuimd den systematischen verzamelgeest van de scholastieke auteurs in rekening te brengen. Immers weldra verschenen ze als *articuli condemnati* in de toevoegingen van het alom bij het onderwijs in de theologie gebruikte en daar feitelijk de plaats van den Bijbel innemende werk *Sententiae* van Petrus Lombardus, waardoor hun bekendheid voor goed gewaarborgd was.

De denkbeelden die Nicolaas van Autrecourt verdedigde (we zullen

nu maar in het midden laten, in hoeverre hij ze voor waar heeft gehouden) vormen een sprekend voorbeeld van de skeptische gezindheid die zich als natuurlijk gevolg van de subtiele, steeds dieper borende redeneerkunst der Scholastiek langzamerhand gevormd had; tevens rechtvaardigen ze ten volle de betiteling van middeleeuwsen Hume, waardoor men Nicolaas later wel heeft gekarakteriseerd.

In het kentheoretische komt zijn positie hierop neer, dat er geen andere zekerheid voor het kennen bestaat, dan die berust op een onmiddellijke of middellijke toepassing van het principium contradictionis, dat het in zijn ontologischen vorm voor onmogelijk verklaart, dat eenzelfde eigenschap tegelijkertijd wèl en niet aan een ding zou toekomen en in zijn logischen, dat een bewering en haar contradictoir tegengestelde tegelijkertijd waar zouden kunnen zijn. Een conclusie is alleen werkelijk betrouwbaar, wanneer ze al in de praemissen opgesloten lag, dus wanneer ze, om een modernen term te gebruiken, een tautologie beduidt. Alle conclusies die op dit principe berusten, bezitten ook alle denzelfden graad van zekerheid, zo b.v. in de wiskunde alle bewezen stellingen, onverschillig of ze meer of minder ver van de axiomata afstaan. Op grond van deze opvatting ontkent Nicolaas nu, dat ooit met zekerheid uit het bestaan van enig ding tot het bestaan van enig ander ding zou kunnen worden besloten. Evenmin kan men ooit evident maken, dat het ene ding volmaakter zou zijn dan het andere of dat iets doel of oorzaak van iets anders zou kunnen zijn. Men kan dus ook nooit met zekerheid vaststellen, dat er buiten ons materiële substanties zijn, die onze gewaarwordingen veroorzaken. Evenmin als van gevolg tot oorzaak kan men uit accidenten, dus b.v. uit hoedanigheden en relaties, tot het bestaan van substanties besluiten, a fortiori niet tot dat van geestelijke of abstracte (d.w.z. zintuiglijk niet waarneembare) substanties.

Uit het bovenstaande blijkt al wel, dat Nikolaas lijnrecht tegenover de Aristotelisch-Thomistische natuurwetenschap moet staan. Inderdaad noemt hij het, met spottende opmerkingen over lieden die, tot de ouderdom hen dat belet, al maar door Aristoteles en Averroës bestuderen, een illusie te menen, dat het onderzoek der natuurdingen ons ooit hun wezen zou kunnen doen kennen; men kan nooit meer doen dan een opeenvolging van verschijnselen constateren; op dit gebied zou echter in betrekkelijk korten tijd veel bereikt kunnen worden, wanneer de onderzoekers maar eens hun geest op de dingen zelf wilden gaan richten inplaats van op de studie van Aristoteles en zijn commentatoren.

Tussen geloven en weten bestaat een onoverbrugbare klove. Alle zogenaamde Godsbewijzen, of zij nu uit het feit van beweging tot een Eersten Beweger, uit het bestaan van oorzaken tot een Eerste Oorzaak, uit de kennelijk doelmatige inrichting van de wereld tot een Schepper, uit verschillen in volmaaktheid tot iets allervolmaakts besluiten, zijn waardeloos. Het natuurlijk licht der rede, waaraan Thomas zulk een grote

waarde had gehecht, schiet hier volkomen te kort; slechts de geloofszekerheid blijft over.

102. De skepsis aangaande het bestaan van materiële en spirituele substanties en het wantrouwen tegen alle redeneringen die iets anders dan tautologieën of vaststellingen van feiten zijn, hebben Nikolaas niet belet, zich tot een aanhanger van de Demokritische atoomtheorie te verklaren, waardoor hij nieuw voedsel gaf aan den tegenstand dien zijn kentheoretische opvattingen reeds hadden uitgelokt. Hij verklaart, dat alle natuurprocessen bestaan uit locale bewegingen van qualitatief niet van elkaar te onderscheiden atomen, dat ontstaan en vergaan van stoffelijke lichamen niets anders zijn dan het samenkomen en weer uiteengaan van atomen en dat ook de veranderingen die ze ondergaan, uit atoombewegingen bestaan.

Naast al deze, als vals, dwalend en ketters gequalificeerde beweringen werd ook zijn lichttheorie veroordeeld, waarin het licht werd beschouwd als een stroom van deeltjes die door een lichtgevend lichaam worden uitgezonden. Daar voor hun beweging tijd vereist wordt, acht Nikolaas de voortplanting van het licht evenmin instantaan als die van het geluid, al is de benodigde tijd te kort om waargenomen te worden.

103. Het voorbeeld van Nicolaas van Autrecourt leert ons, hoeveel denkbeelden er in de Middeleeuwen leefden, die later in philosophie en natuurwetenschap tot aanzien zouden komen, maar die onder de overheersing van het Aristotelisme geen kans kregen, zich te doen gelden. Het verdient in dit verband vermelding, dat onder de stellingen die hij moest herroepen, uitdrukkelijk ook deze genoemd wordt, dat men niet met evidentie kan aantonen, dat het ene natuurding in rang hoger staat dan het andere. Dat ging lijnrecht in tegen het zowel in de antieke als in de middeleeuwse natuurphilosophie alom aanvaarde principe van rangschikking der dingen naar axiologische gezichtspunten; tegen de mening van Augustinus, dat het licht onder al het zintuiglijk waarneembare de hoogste plaats inneemt, tegen de opvatting van Plotinos en Bonaventura, dat de aarde als *faex elementorum* (de droesem der elementen) den allerlaagsten rang in de natuur bekleedt; tegen de uit de Pythagoraeïsche leer afkomstige waardering van boven, rechts, mannelijk, oneven, boven beneden, links, vrouwelijk, even.

Nicolaas van Autrecourt wordt om zijn aanvaarding van atomistische denkbeelden in alle werken over de geschiedenis der natuurwetenschap vermeld, maar daarbij vaak voorgesteld als figuur die een opmerkelijke uitzondering op het denken van zijn tijd vormde. Hij was dat zeker geenszins in zijn skepsis ten aanzien van de bewijsbaarheid van geloofswaarheden en de daaruit voortvloeiende scherpe scheiding tussen geloof en wetenschap en volstrekte afwijzing van de Aristotelisch-Thomistische natuurphilosophie, en evenmin in zijn pleidooi voor een grotere onbevangenheid in de waarneming der natuurverschijnselen. De scheiding

tussen philosophie en theologie vormt zelfs een der meest kenmerkende trekken van de veertiende-eeuwse scholastiek. Het was niet, zoals bij Thomas, een gescheiden houden van beider werk uit methodische overwegingen van denkzuiverheid, gebaseerd op de overtuiging van de essentiële overeenstemming van beider resultaten, maar het was de uiting van de opvatting, dat zij niets met elkaar te maken hebben, dat ze geheel verschillende geestelijke functies betreffen. Er werd geen poging meer gedaan, in het geloof iets redelijks te vinden. Zo verklaart Johannes van Mirecourt, een ook onder den naam Monachus Albus bekend geworden Cisterciënser, dien de historici der scholastiek als een volkomen ontaard nominalist afschilderen, dat in het natuurlijk licht der menselijke rede ieder geloofsartikel een dwaling, daarentegen een dwaling vaak waar lijkt; omgekeerd sluit strijdigheid met het geloof de waarschijnlijkheid van een bewering niet uit; deze kan zelfs wel waarschijnlijker zijn dan het geloofsartikel waarmee ze in strijd is[6].

104. De door Nicolaas van Autrecourt zo scherp geformuleerde, maar door verscheidene tijdgenoten min of meer uitdrukkelijk aanvaarde opvatting, dat alleen tautologieën en vaststellingen van feiten (b.v. in den zin van: ik voel warmte, ik voel me verheugd) op absolute waarheid aanspraak kunnen maken, terwijl van een strikt bewijs slechts in het eerste geval kan gesproken, leidde er vanzelf toe een onderscheid te maken tussen ware en waarschijnlijke, d.w.z. waar lijkende beweringen; deze laatste kunnen niet waar worden gemaakt, ze kunnen alleen door dialectische redenering of *persuasio* (overreding) min of meer aannemelijk worden. Daar men echter enerzijds wel door praten een valse mening waarschijnlijk kan maken, terwijl een streng bewijs nog geen intuitieve overtuiging behoeft te vestigen, maakte men nog weer verschil tussen beweringen, die waar èn waarschijnlijk zijn (dus waar zijn en als waar worden ingezien), waar en weinig waarschijnlijk, vals maar waarschijnlijk, vals maar waarschijnlijker dan het tegenovergestelde. Daardoor kwam naast het probalilisme dat waarschijnlijke beweringen toelaat, het probabiliorisme te staan, dat volstaat met de ene bewering waarschijnlijker te noemen dan de andere[7].

Het behoeft nauwelijks betoog, hoeveel gevaren voor de ontwikkeling van die enkele inzichten die een betere toekomst voor het natuurwetenschappelijk denken beloofden, er in dit gehele denkklimaat scholen. Het is altijd weer de neiging tot wat men de *subtilitas* noemt, de voorliefde tot het vernuftig en scherpzinnig redeneren en het maken van steeds fijnere onderscheidingen die den middeleeuwsen geleerde bij het voortschrijden van de ontwikkeling der scholastiek op steeds ingewikkelder dwaalsporen leidt.

Daarom mag de opvallende overeenstemming tussen de denkbeelden over de kenbaarheid van de natuur die we Nicolaas van Autrecourt hoorden uitspreken, en de neo-positivistische denkwijze, die zovele heden-

daagse physici de hunne noemen, ons er niet toe verleiden, te geredelijk de veertiende-eeuwse natuurwetenschap als een voorspel tot de klassieke en moderne physica te beschouwen. Daarvoor ontbrak het voorlopig nog aan het inzicht in de juiste betekenis van de twee essentiële fundamenten waarop deze eenmaal zouden verrijzen: het experiment en de wiskundige inkleding.

Even onjuist zou het echter zijn, de waarde van de veertiende-eeuwse natuurwetenschap te onderschatten. Het is een lange en moeilijke weg geweest, waarlangs de mens zich tot enig inzicht in de natuur en tot enige macht over haar krachten heeft opgewerkt; iedere phase van dien ontwikkelingsgang waarin iets nieuws werd beproefd en verwezenlijkt, verdient onze aandacht en onze waardering en uit dat oogpunt heeft de veertiende-eeuwse ongetwijfeld recht op een zelfstandige plaats in de wetenschapsgeschiedenis.

C. De veertiende-eeuwse physica

105. We zullen enigen indruk van de betekenis van die plaats krijgen wanneer we thans voor een viertal uitgekozen onderwerpen van natuurwetenschappelijken aard nagaan, hoe er in den loop der Middeleeuwen over gedacht is; daarbij zal telkens vanzelf blijken, in hoeverre de veertiende eeuw een eigen positie inneemt. We spreken dus achtereenvolgens over:

a. plaats en beweging.
b. val en worp.
c. Oresme en de graphische voorstelling van intensiteitsverandering van qualiteiten.
d. de structuur der materie.

a. *Plaats en Beweging*[8]

Zoals overal hebben de Arabieren ook op het stuk van de localisatietheorie gezorgd voor de continuïteit tussen Oudheid (I: 45-46) en Middeleeuwen. Avicenna sluit zich aan bij Alexander van Aphrodisias, Avempace bij Themistios, met dit ene verschil, dat hij wat als accidentele localisatie bedoeld was, als essentiële beschouwt. Averroës preciseert de mening van Aristoteles, waarbij hij er vooral den nadruk op legt, dat de rotatie van een hemelspheer altijd een onbeweeglijk centraal lichaam onderstelt. Deze opmerking zou vooral voor de astronomie van belang blijken te zijn; zij vormde namelijk een overwegend bezwaar tegen de theorie van excenters en epicykels van Ptolemaios; elke van al deze cirkels zou immers een nieuw onbeweeglijk centraal lichaam vereisen, dat dan telkens weer een andere aarde zou moeten zijn. De plaats van de achtste spheer (een plaats per accidens) is volgens Averroës de aarde.

In de dertiende eeuw wordt de mening van den Commentator gedeeld door Albertus Magnus, terwijl de denkbeelden van Thomas van Aquino, Grosseteste, Johannes Duns Scotus en Aegidius Romanus meer verwantschap met die van Damaskios (I: 46) vertonen.

Grosseteste en Thomas onderscheiden plaats in den zin van ultimum continentis van plaats in den zin van een stelsel meetkundige grootheden die de positie van een lichaam bepalen; echter denken ze zich die bepaling niet uitgevoerd ten opzichte van het ideaal geordende universum van Damaskios, maar ten opzichte van de achtste spheer als geheel (*secundum substantiam*). Thomas noemt deze laatste plaats de rationele (*ratio loci*). Aegidius Romanus onderscheidt haar als formele plaats (ook wel *locus situalis* genaamd) van de materiële (ook *locus superficialis*), die het ultimum continentis van een lichaam is. In het door Aristoteles beschouwde geval van een schip, dat in stromend water voor anker ligt, verandert wel de materiële plaats voortdurend, maar niet de formele.

Typerend voor den astrologischen inslag van het Thomisme is, dat Thomas de achtste spheer niet alleen als het *primum continens* en *locans* (het eerste omvattende en plaatsverlenende), maar ook als het *conservans* (het instandhoudende) betitelt. Dit hangt samen met het onderscheid dat hij maakt tussen de natuurlijke beweging van de ondermaanse lichamen en die der hemelspheren. De eerste vergroot de perfectie doordat ze de lichamen voert naar de plaats waar ze door hun natuur thuishoren; in de tweede echter uit zich de werking van de eerste oorzaak; hieraan ligt de gedachte ten grondslag, dat de hemellichamen de ondermaanse verschijnselen teweeg brengen.

106. De discussie van het plaatsprobleem verkreeg een gans nieuwe actualiteit, toen in het decreet van Tempier (II: 93) een uitspraak werd gedaan die zijdelings met de localisatie van de achtste spheer samenhing. We hebben reeds gezien (I: 45), hoe men zich door invoering van het begrip accidentele plaats, dat o.m. door Thomas was aanvaard, had weten te redden uit de moeilijkheid die haar rotatie opleverde; toen was echter door de Averroisten de vraag aan de orde gesteld, of God wel aan de achtste spheer en daarmee aan het gehele Heelal een rechtlijnige translatie zou kunnen geven, welke vraag ontkennend was beantwoord op grond van de overweging, dat bij zulk een beweging een vacuum over zou moeten blijven op de plaats waaruit het heelal verwijderd was. De twijfel aan God's almacht, dien men van theologische zijde in dit antwoord meende te ontwaren, had toen aanleiding gegeven tot de boven reeds vermelde 49e uitspraak van Tempier.

Het is duidelijk welk een belangrijke kwestie hiermee aan de orde was gesteld. Het beroep op de onmogelijkheid van het vacuum kon alleen doorslag geven, wanneer het begrip een logische onmogelijkheid insloot, omdat God's almacht niet met zich meebrengt, dat Hij het logisch tegenstrijdige kan laten gebeuren (b.v. een vierkanten cirkel maken). Het

argument vervalt echter, wanneer het vacuum wel denkbaar, maar alleen in de feitelijke orde der natuur niet gerealiseerd is. Zo was hier dus niet alleen de astronomische vraag naar de plaats van de achtste spheer in het geding, maar ook de physische naar het bestaan van het vacuum. Voor wie zich door Tempier's uitspraak gebonden achtte, was de juiste opvatting voortaan deze, dat de denkbaarheid van dat bestaan moest worden toegegeven, maar dat er een oneindige kracht nodig zou zijn om het te realiseren, zodat het niet binnen menselijk vermogen viel.

107. Men kan niet ontkennen, dat het optreden van Tempier, hoe aanvechtbaar het in vele opzichten ook was, in zekeren zin een stimulerende werking op de natuurphilosophie heeft uitgeoefend, doordat het de wijsgeren o.m. tot diepere bezinning op de begrippen plaats, tijd en beweging dwong.

Van de resultaten van die bezinning zijn voor ons doel vooral de beschouwingen van belang, die in de Parijse school der z.g. Terministen[9] ontwikkeld zijn. Ter inleiding daarvan moet echter iets worden gezegd over een natuurphilosophische kwestie, het bewegingsbegrip betreffend, die, aan de orde gesteld door Albertus Magnus, reeds in de scholastiek der dertiende eeuw een belangrijke plaats had ingenomen. Het gaat hierbij om twee verschillende opvattingen over het wezen van beweging, die door de termen *forma fluens* en *fluxus formae* worden aangeduid[10].

Het is een subtiel twistpunt, waarvan de uiteenzetting bovendien bemoeilijkt wordt door de omstandigheid, dat de gebruikte termen de twee te onderscheiden standpunten helemaal niet op tekenende wijze uitdrukken; het lijkt soms, of ze evengoed of zelfs beter voor de tegenovergestelde zienswijze zouden kunnen worden gebezigd en de scholastieke auteurs verwarren ze zelf dan ook wel eens. Het meningsverschil betreft, kort gezegd, de vraag, of beweging al dan niet thuis hoort in de categorie waarin ze zich voltrekt. Is b.v. qualiteitsverandering zelf een qualiteit, quantiteitsverandering zelf een quantiteit? Een lichaam is b.v. bezig zwart te worden; is nu dit zwart worden, dit *nigrescere*, zelf een zwart-zijn, dat zich van de uiteindelijk bereikte zwartheid slechts daardoor onderscheidt, dat het een *nigredo in fluxu* is (zwartheid in beweging) en niet een *nigredo in quiete* (zwartheid in rust)? Of is nigrescere iets essentieel anders dan nigredo; is het als weg naar de zwartheid wezenlijk van zwart-zijn onderscheiden? Albertus duidt de eerste opvatting, die hij aan Averroës toeschrijft, aan door den term forma fluens, de tweede, die hij bij Avicenna uitgesproken meent te vinden, door fluxus formae.

De term forma fluens is in zoverre misleidend, dat er de indruk door wordt gewekt, als zou een vorm, i.c. de nigredo, iets vloeiend veranderlijks kunnen zijn. Dat is zeer bepaald niet de bedoeling. Vormen zijn volgens scholastieke opvatting zo star onveranderlijk als Platonische ideeën of, in een Aristotelische opvatting, als getallen: *formae sunt sicut numeri*[11] (vormen zijn als getallen). Een veranderlijke vorm bestaat even-

min, als de wiskunde veranderlijke getallen kent, al wordt deze uitdrukking wel gebruikt om aan te geven, dat men een zekere getalverzameling beschouwt. Wat vloeiend verandert is niet de vorm, maar het deelhebben, de participatio, van het subject aan den vorm.

De omschrijving van beweging als forma fluens komt ook voor in de gedaante van een identificatie van beweging (*motus*) en eindpunt der beweging (*terminus motus*) of door de beweging verkregen vorm (*forma acquisita per motum*).

Deze formulering maakt het mogelijk te zeggen, wat de forma fluens-opvatting voor het geval van locale beweging eigenlijk inhoudt. Op ieder ogenblik is de terminus motus dan het juist bereikte punt. De definitie van beweging als forma fluens komt dus hierop neer, dat een locale beweging wordt geïdentificeerd met de verzameling van alle posities die het mobile inneemt, waarbij dan, al dan niet uitdrukkelijk uitgesproken, tevens bedoeld wordt, dat het zich niet op twee plaatsen tegelijk bevindt. Uit deze opvatting, die gewoonlijk, maar nogal misleidend, door *motus localis est mobile quod movetur* (plaatselijke beweging *is* het lichaam, dat zich beweegt) wordt weergegeven, heeft Ockham de conclusie getrokken, dat het woord motus dan ook niet meer dan een woord is, een vox, die twee positieve dingen aanduidt, t.w. het mobile en de achtereenvolgens ingenomen plaatsen, en een negatief, n.l. het niet gelijktijdig innemen van twee plaatsen. Men gebruikt het woord meer *propter venustatem eloquii* dan *propter necessitatem* (meer omdat het zo mooi klinkt dan omdat men het nodig heeft); er beantwoordt echter geen enkele realiteit buiten ons denken aan.

Het verzet dat deze extreem-nominalistische beschouwingswijze in de veertiende eeuw opwekte - en wel, merkwaardig genoeg, bij de Parijse Terministen, die toch als volgelingen van den Venerabilis Inceptor mogen worden beschouwd - leidde tot de vraag, of door de forma fluens-opvatting, waarvan ze de gevolgtrekking was, het wezen van een locale beweging wel voldoende wordt uitgedrukt, of zij niet veeleer tegelijkertijd een buiten ons denken bestaande physische realiteit, een fluxus formae is.

108. Op deze plaats grijpt nu het probleem van de rechtlijnige beweging van de achtste spheer in, dat door de beslissing van Tempier zulk een toetssteen van rechtzinnigheid was geworden. Voor die beweging, waarvan de denkbaarheid moest worden toegegeven, was de forma fluens-opvatting kennelijk onmogelijk: de achtste spheer heeft geen plaats en haar beweging kan dus ook niet met de verzameling van alle ingenomen plaatsen identiek zijn. Daarom had reeds Duns Scotus, die anders een aanhanger van deze opvatting is, toegegeven, dat de beweging in dit geval een absolute, d.w.z. onafhankelijk van plaats en mobile bestaande vorm is en die concessie, die in feite op de aanvaarding van de fluxus formae-theorie neerkomt, is door de Parijse Terministen op locale beweging in het algemeen uitgebreid. Beweging wordt door hen omschreven als een *intrinsece*

aliter et aliter se habere (een intrinsiek zich telkens anders gedragen); het is een reële, van het mobile te onderscheiden, maar aan het mobile inhaerente toestand, die niet in een der categorieën kan worden ondergebracht; ze is niet vatbaar voor verdere wezensbepaling, maar moet eenvoudig op grond van de ervaring als bestaand worden aangenomen.

Ze lijkt echter wel het meest op een qualiteit en wordt dan ook, zoals nog blijken zal, door Oresme ook op soortgelijke wijze als qualiteiten behandeld. We zullen in II: 127-131 zien, tot welke belangrijke gedachten deze opvatting heeft geleid.

Voorlopig volstaan we met de opmerking, dat, zoals zo vaak, ook in deze zaak Ockham weer het dichtst bij de moderne natuurwetenschap met haar ver gaande relativering van het bewegingsbegrip staat, terwijl de voortzetters van zijn werk, de Parijse Terministen, veeleer de absolutistische bewegingsleer voorbereiden die Newton zo uitdrukkelijk zal belijden. Voor de hedendaagse natuurwetenschap is beweging inderdaad in zoverre slechts een vox, dat men van ieder ding kan zeggen, dat het zich wèl, maar evengoed, dat het zich niet beweegt, omdat men altijd wel een coördinatenstelsel kan aanwijzen, ten opzichte waarvan zijn coördinaten met den tijd wèl en een ander, ten opzichte waarvan zij niet veranderen, Voor de Terministen echter is beweging in zoverre iets absoluuts, dat men volgens hen van een lichaam zeggen kan, dat het zich beweegt, zonder zijn relaties tot andere lichamen in aanmerking te nemen. Een andere moderne trek van de forma fluens-opvatting is, dat ze afziet van iedere poging, den overgang van een bewegend lichaam van den enen stand naar den anderen aanschouwelijk of begrijpelijk te maken; ze volstaat met te constateren, dat aan verschillende tijdstippen verschillende posities zijn toegevoegd. Daardoor ontkomt zij aan de denkverlegenheden inzake beweging die door Zenoon van Elea aan de orde waren gesteld.

b. *Val en Worp*[12]

α. De oorzaak der valbeweging

109. Zoals we reeds zagen (I: 30-39, 99) had de behandeling van de val- en worpverschijnselen door Aristoteles nog verscheidene vragen opengelaten, terwijl zijn theorieën op die punten waarop hij wel een bepaalde mening had geuit, nog veel aanleiding tot twijfel gaven. Het is dan ook niet te verwonderen, dat de Scholastiek, met haar levendige belangstelling in natuurwetenschappelijke problemen, zich nog uitvoerig met het onderwerp heeft bezig gehouden.

Dat we van de beschouwingen waartoe het de middeleeuwse denkers gevoerd heeft, tegenwoordig enige kennis bezitten, hebben we in de eerste plaats te danken aan het pionierswerk dat de Franse physicus en historicus Pierre Duhem door bestudering van een omvangrijk handschriftenmateriaal voor de ontsluiting van de middeleeuwse natuurwetenschap ver-

richt heeft. Vormden echter een twintigtal jaren geleden zijn werken nog de enige bron waaruit iemand die zelf niet de gelegenheid tot handschriftenstudie bezat, zijn inlichtingen over het onderwerp kon putten, zo is de mogelijkheid van voorlichting thans aanzienlijk verruimd door de onderzoekingen van C. Michalsky en Anneliese Maier. Helaas zijn de resultaten van het werk van Michalsky moeilijk toegankelijk: zijn werken zijn in het Pools geschreven en staan alleen in den vorm van Franse résumé's ter algemene beschikking. Daarentegen heeft A. Maier de vruchten van haar arbeid neergelegd in een drietal in het Duits geschreven werken, die, dank zij de grote vertrouwdheid van de schrijfster met middeleeuwse handschriften en haar doordringend heldere wijze van uiteenzetting, tegenwoordig de belangrijkste bron van informatie voor de natuurwetenschap der scholastiek vormen.

Voor de valbeweging was het bij Aristoteles nog min of meer een open vraag gebleven, wat nu eigenlijk tijdens de beweging omlaag de motor conjunctus is, die volgens zijn opvattingen voor het onderhouden van de beweging vereist wordt. De opsomming van de verschillende oorzaken voor den val (I: 31): het generans als causa remota, de substantiële vorm als causa efficiens, het removens impedimentum als causa accidentalis, waaraan nog de natuurlijke plaats als causa finalis kan worden toegevoegd, moge begrijpelijk hebben gemaakt, waarom een zwaar lichaam, losgelaten, begint te vallen, een inzicht in de wijze waarop de val in stand wordt gehouden, geeft ze voor den op het stuk van causaliteit veeleisenden scholasticus nog niet. Ons beperkend tot een globaal overzicht van wat de nadere bestudering van dit probleem heeft opgeleverd, kunnen we in de dertiende en veertiende eeuw vijf verschillende theorieën hierover onderscheiden:

110. 1) Volgens een van Averroës afkomstige opvatting, die echter zelfs bij zijn trouwe volgelingen Siger van Brabant en Johannes van Jandun geen instemming vindt, is het het medium waarin de val plaatsvindt, dat, zelf in beweging verkerend, het grave mee omlaag voert.

2) De grote meerderheid der auteurs is het er over eens, dat de oorzaken die het intreden van den val hebben teweeggebracht, ook zijn voortduren bewerken. Dat is voor het scholastieke denken lang niet zulk een voor de hand liggende stap als wij thans geneigd zijn er in te zien. Immers hiertoe moest het Aristotelische beginsel, dat voor de beweging van een corpus inanimatum movens en motum reëel verschillend moeten zijn, d.w.z. beide actueel en gescheiden moeten bestaan, worden opgegeven. In den loop van de dertiende en veertiende eeuw voltrekt zich nu echter in deze opvatting een niet onbelangrijke wijziging: terwijl Albertus Magnus, Thomas van Aquino en Siger van Brabant den eigenlijken motor toch steeds in het generans blijven zoeken (dat toch altijd nog een aliud is) en zowel den substantiëlen vorm als de gravitas slechts als ondergeschikte causae instrumentales beschouwen, wordt voor de

lateren (Petrus van Alvernia, Godfried van Fontaines, Petrus Olivi en vooral Duns Scotus) de gravitas de onmiddellijk werkende oorzaak, waarbij er alleen nog meningsverschil over bestaat, of deze gravitas werkt *in virtute generantis* (uit kracht van het generans) of *in virtute formae substantialis* (uit kracht van den substantiëlen vorm). Het nieuwe in deze opvatting is, dat naast het altijd al aanvaarde passieve bewegingsprincipe (het grave leent zich tot valbeweging, verzet er zich niet tegen) ook nog een actief inwendig principe bestaat, een in het grave zetelende tendentie, de natuurlijke plaats op te zoeken. Het gedrag van het vallend lichaam begint enigszins te gelijken op dat van een levend wezen; men blijft echter gewoonlijk onderscheiden tussen den motus *a se*, die hieraan eigen is en den motus *per se* van het grave. De gewijzigde opvatting wordt met zekere nuanceverschillen, waarop we hier niet kunnen ingaan, ook door Ockham en de Parijse Terministen aanvaard.

Het verdient opmerking, dat de invoering van interne bewegingsprincipes een verwijdering beduidt van de mechanistische beschouwingswijze, waarin een lichaam niets zelf kan, maar steeds van buiten af moet worden gestoten en geduwd. In zekeren zin stond Aristoteles met zijn eis van volstrekte scheiding van motor en mobile hier dichter bij het mechanicisme dan de veertiende-eeuwse scholastiek.

3) Volgens een reeds door Aristoteles vermelde theorie valt een grave naar beneden, omdat het zodoende zich kan verenigen met het geheel der lichamen waarmee het naar zijn aard verwant is. De Stagiriet had die opvatting beslist verworpen: wanneer men de aarde tegen de maanspheer aan zou plaatsen en een zwaar lichaam in de buurt ervan zou loslaten, zou dit evengoed als nu naar het wereldcentrum vallen, waar zijn natuurlijke plaats is. In de Scholastiek komt deze theorie - zoals alle theorieën waarvan men ooit gehoord had - ook weer ter sprake; ze wordt o.a. vermeld en niet verworpen door Oresme die de *inclinatio ad suum simile* (het streven naar het gelijksoortige) als het ware bij het streven naar de natuurlijke plaats laat komen. In een later stadium van de ontwikkeling zal zij vooral historisch belangrijk worden doordat Copernicus haar tot de zijne zal maken.

4) Een vierde opinie, die wel weinig aanhang vindt, maar die o.a. door Bonaventura wordt aangehangen, is deze, dat de oorzaak van den val geheel of ten dele zou liggen in een afstoting door de hemelspheren. Gewoonlijk wordt deze theorie verworpen op grond van de ondenkbaarheid van een actio in distans, terwijl men er ook als bezwaar tegen aanvoert, dat de valbeweging dan in het begin het snelst zou moeten zijn: men beschouwde het als vanzelfsprekend, dat een eventuele actio in distans bij toenemenden afstand zwakker zou worden en concludeerde daaruit in verband met de grondstelling der peripatetische dynamica, dat dan ook de snelheid af zou moeten nemen.

5) Ten slotte wordt ook wel gedacht aan een aantrekkende werking

die van de natuurlijke plaats zou uitgaan. Ook hiertegen spreekt natuurlijk weer de onmogelijkheid van een actio in distans, maar het feit dat de valbeweging versneld is, pleit te haren gunste. Een consequentie van de stilzwijgend onderstelde betrekking tussen de intensiteit van de krachtwerking en den afstand zou nu echter zijn, dat een grave des te zwaarder is, naarmate het dichter bij zijn natuurlijke plaats komt, terwijl de algemene overtuiging deze is, dat een grave in de vuurspheer het zwaarst is en helemaal niets meer weegt, wanneer het het einddoel der beweging, i.c. de natuurlijke plaats, bereikt heeft. Dit moet een logisch gevolg hebben geleken van de opvatting van zwaarte als streven naar de natuurlijke plaats. De attractietheorie komt voor bij Bonaventura (die alle denkbare oorzaken samen laat werken) en Richard van Middletown, maar neemt haar interessantsten vorm aan bij Roger Bacon en bij den auteur van de eertijds aan Grosseteste toegeschreven *Summa Philosophiae*. Zij wordt hier namelijk in verband gebracht met de conceptie van een krachtveld, die we bij de behandeling van de species-theorie leerden kennen. Door de gehele ondermaanse spheer, bolvormig uitgebreid om het centrum en in intensiteit afnemend met toenemenden afstand daartoe, is namelijk door den invloed van een immateriële virtus caelestis een zekere toestand of vorm uitgebreid, die overal het grave naar het aardcentrum drijft. Deze voorstelling wordt echter door andere doorkruist; elders laat Bacon door de virtus caelestis ook in het grave een immateriëlen vorm opwekken (d.w.z. een vorm, die niet, zoals de substantiële, de materie informeert, maar die meer als een geestelijk vermogen gedacht moet worden), die de eigenlijke beweger is; of hij spreekt van een aantrekkende werking die de natuurlijke plaats, eveneens door participatie aan die virtus caelestis, qua plaats op naburige zware lichamen kan uitoefenen, zonder de wijze waarop dat geschiedt nader door het veld-beeld te verduidelijken.

Voordat we nu overgaan tot de behandeling die het probleem van de valversnelling in de Scholastiek heeft ondergaan, zal het gewenst zijn, over den worp te spreken. We zullen daarbij namelijk kennis maken met een van de historisch meest belangrijke begrippen der scholastieke natuurwetenschap, dat ook in de valbeweging toepassing zal blijken te vinden.

β. De impetustheorie[13]

111. We maakten in I: 99 reeds kennis met het door Philoponos ter verbetering van de worptheorie ingevoerde begrip van inwendig bewegend vermogen, dat in de Scholastiek de namen impetus en vis impressa zou verkrijgen. De projiciens zou dit vermogen aan het mobile meedelen, dat er zijn motor conjunctus in zou vinden.

Deze theorie wordt in de dertiende eeuw door verscheidene scholastici al dan niet met instemming behandeld. Of zij er door Arabische bronnen kennis van gekregen hebben (al-Fârâbî gebruikt een begrip *mayl*, dat nauw met dat van impetus verwant is, en de invloedrijke school van

Avicenna blijkt eenzelfde theorie aan te hangen[14] of dat de nieuwe opvatting een spontane reactie van het Westen op de gekunstelde worptheorie van Aristoteles geweest is, moeten we hier in het midden laten; een feit is echter, dat zij in de dertiende eeuw als een bekende zaak wordt behandeld. Thomas verwerpt haar in zijn commentaren op de *Physica* en op *De Caelo* (hij noemt het hier strijdig met het begrip gedwongen beweging, dat deze een gevolg zou zijn van een intrinsiek principe), maar elders citeert hij haar tot driemaal toe ter verduidelijking van een meta-physisch probleem zonder dat iets van een kritische gezindheid blijkt.

De aanleidingen die hij heeft om haar ter sprake te brengen, vormen een zo typerende illustratie van de wijze waarop de Scholastiek natuurwetenschappelijke problemen in wijsgerige beschouwingen te pas pleegt te brengen, dat het de moeite loont, er iets over te zeggen. Twee van de drie malen gebeurt dat namelijk in een bespreking van de in de Middeleeuwen vaak behandelde vraag naar de wijze, waarop het menselijk embryo bezield wordt; geschiedt dit rechtstreeks door een scheppingsdaad Gods, die de anima sensibilis toevoegt aan de door natuurlijke oorzaken gegroeide zuiver physische vrucht of vloeit die anima door bemiddeling van het zaad uit die van den vader voort? In het laatste geval zou er een kracht in dat zaad als instrument moeten werken en dat zou volgens peripatetische opvattingen niet kunnen zodra het afgescheiden werd van de vaderlijke ziel, die er het movens van is. Hier wordt nu het projectum separatum ter vergelijking aangehaald: zoals dit van den projiciens een inwendige virtus movens heeft gekregen, kan ook de virtus in semine patris een permanent intrinsiek vermogen zijn. Het blijft bij Thomas bij dergelijke terloopse vermeldingen zonder dat het probleem van het projectum separatum als zodanig gesteld wordt.

Een enkele maal komt ook de term impetus reeds bij Thomas voor[14a]; ook ontmoet men dezen bij Albertus Magnus en Roger Bacon, die er echter - elk weer op verschillende wijze - een bewegende kracht mee aanduiden, die in het medium zetelt. Daarentegen houdt aan het einde van de dertiende eeuw Bacon's ordebroeder Petrus Johannes Olivi, nog zonder den naam impetus te noemen, beschouwingen over den worp, die, in zekere nuances afwijkend van den definitieven vorm dien de theorie in de veertiende eeuw zal verkrijgen, als een bijdrage tot haar ontwikkeling mogen worden beschouwd[15].

De eerste die haar volledig aanhangt, is de Italiaanse Scotist Franciscus de Marchia. Het begrip impetus komt bij hem (onder den naam *vis derelicta*) ter sprake bij de behandeling van de vraag naar de werkingswijze der sacramenten: zetelt hierin een eigen afgeleide kracht, die de genade bewerkt, of grijpt God rechtstreeks in door de locale beweging der genademiddelen? Ter verduidelijking van de eerste op- vatting geeft Franciscus nu een uitvoerige uiteenzetting over val en worp in den zin van de impetustheorie; of zij aanvaard kan worden, zal er van

afhangen of men in een projectum separatum een inwendige virtus aan mag nemen.

Opmerkelijk is hierbij, dat de schrijver, deze vraag in bevestigenden zin beantwoordend, niet in het minst tegen Aristoteles polemiseert; hij beschouwt het als de hoofdzaak, dat deze het voortduren van den worp eveneens had toegeschreven aan de werking van een secundaire virtus movendi en niet aan rechtstreeksen invloed van de beweging van den sterrenhemel en hij vindt het blijkbaar slechts van ondergeschikt belang, dat als zetel van die virtus niet het projectum zelf, maar het medium wordt beschouwd; hij meent zelfs, dat het medium in ieder geval wel iets van die virtus zal hebben meegekregen. Van belang is verder op te merken:

1) dat de secundaire bewegende kracht niet ontstaat door de beweging van het projectum gedurende den tijd, dat het met den projiciens verbonden is, maar rechtstreeks voortvloeit uit de bewegende kracht die deze ontwikkelt.
2) dat zij ook naar den aard door die kracht bepaald wordt, waardoor zij in het ene geval worp omhoog, in het andere worp op zij en in een derde beweging in een cirkel kan onderhouden.
3) dat zij, ook zonder dat er uitwendige remmende invloeden werkzaam zijn, na korten tijd vanzelf uitsterft, zoals ook de warmte die door vuur aan water is meegedeeld, geleidelijk weer verdwijnt. Een geestverwant van Franciscus, de Scotist Nicolas Bonet, verklaart nadrukkelijk, dat ook in vacuo de beweging door dit wegsterven van den impetus tot een eind zou komen.

Franciscus komt er nog niet toe om, in verband met de impetustheorie, de intelligenties die de hemelspheren in beweging houden, geheel uit te schakelen; zij blijven de eigenlijke motores, maar zij oefenen hun functie uit, doordat zij in de spheren een impetus opwekken, die de onmiddellijke grond van de beweging daarvan is. Hiermee was echter een in beginsel belangrijke stap gedaan: de toepassing van het voor gedwongen aardse bewegingen ingevoerde impetusbegrip op natuurlijke bewegingen van hemelse lichamen vormt een eerste inbreuk op het Aristotelische leerstuk van de principiële tegenstelling tussen hemel en aarde, die kenmerkend is voor het peripatetische wereldbeeld.

Zoals bijna wel te verwachten was, neemt Ockham ten aanzien van het probleem, of de worp onderhouden wordt door het medium of door een in het projectum zetelenden impetus een eigen en oorspronkelijke positie in. Evenmin als hij in beweging een realiteit ziet die van het mobile onderscheiden zou kunnen worden, wil hij haar als een werking beschouwen, die een oorzaak zou vereisen. Een projectiel is zijn eigen motor.

We zullen de vraag naar de juiste betekenis van deze uitlating nog even laten rusten om eerst de verdere lotgevallen van de impetustheorie te vervolgen:

112. Zij komt tot volle ontplooiing in de reeds vaker vermelde school van de Parijse Terministen, waarvan Johannes Buridan als de centrale figuur kan worden beschouwd. Daar het ons te ver zou voeren, nauwkeurig tussen zijn denkbeelden en die van zijn voornaamste volgelingen, Albert van Saksen en Marsilius van Inghen, te onderscheiden, beperken we ons tot een korte weergave van de impetusbeschouwingen die in zijn geschriften voorkomen en die in grote lijnen toch als typerend voor de denkrichting der Terministen kunnen worden beschouwd.

Wanneer men een lichaam in een gedwongen beweging brengt, dus het verticaal of zijdelings wegwerpt of het in een cirkel rondslingert, deelt men er een impetus aan mee, die de beweging doet voortduren, nadat men het lichaam heeft losgelaten. Die impetus is des te groter, naarmate het projectum meer oermaterie bezit en naarmate men het sneller voortbeweegt. De impetus wordt tegengewerkt door den weerstand van het medium waarin de beweging plaats heeft, en in het geval van een omhooggeworpen lichaam tevens door de zwaarte, die het naar de natuurlijke plaats wil voeren. Door de eerste oorzaak komt een in draaiing gebrachte molensteen of pottenbakkerswiel, aan zichzelf overgelaten, tot rust; samen maken ze, dat een omhoog geworpen lichaam spoedig een hoogste punt bereikt, waarna de zwaarte het kan doen vallen. Dat een gespannen snaar, uit zijn evenwichtsstand gebracht en losgelaten, schommelingen om dien evenwichtsstand gaat uitvoeren, is eveneens aan de werking van den verkregen impetus toe te schrijven. Ook de beweging der hemellichamen kan met behulp van impetus worden verklaard. Wanneer men onderstelt, dat God bij de schepping aan iedere hemelspheer een zekeren impetus verleend heeft, kan men begrijpen, dat zij zonder voortdurend ingrijpen van intelligenties in beweging blijven; er is immers geen weerstand die zich daartegen verzet en ook geen neiging in de spheren zelf tot beweging in andere richting.

De impetustheorie kan ook verklaren, hoe het komt, dat de valbeweging met groeiende snelheid verloopt. De zwaarte, aanvankelijk alleen werkend, doet het lichaam niet alleen vallen, maar deelt er ook een impetus aan mee, die het nu met haar samen voortbeweegt; daardoor wordt de beweging sneller en dus de impetus groter; het lichaam, bewogen door de constante zwaarte en een steeds groeienden impetus, zal zich dus steeds sneller gaan bewegen.

113. Wanneer wij thans, vooruitlopend op de historische ontwikkeling, de enigszins vage formulering van de wijze waarop Buridan den impetus laat afhangen van de hoeveelheid materie en de snelheid, preciseren tot een evenredigheid met massa en snelheid (het is, zoals in II: 120 blijken zal, voor de veertiende-eeuwse scholastici weliswaar niet de enige denkbaarheid, maar toch zeker wel de meest voor de hand liggende), springt het in het oog, hoe nauw dit scholastieke begrip verwant is met wat Galilei *momento*, Descartes *quantité de mouvement*, Newton *quantitas motus*

en de latere mechanica *impuls* (of hoeveelheid beweging) zal noemen. Men heeft dan ook van het ogenblik af, dat Duhem er voor het eerst de aandacht op vestigde, de toepassing die het in de bewegingsleer der Terministen vindt, vrijwel algemeen als het eerste optreden van het impulsbegrip in de geschiedenis beschouwd; bovendien heeft men echter veelal gemeend, in de denkbeelden van Buridan en zijn school den oorsprong van het traagheidsbegrip der klassieke mechanica te kunnen ontwaren.

Tegen deze opvattingen is nu in den jongsten tijd van de meest gezaghebbende zijde ernstig verzet aangetekend: A. Maier[16] wijst op het radicale verschil, dat tussen scholastieke en klassieke mechanica bestaat wat de denkbeelden over het wezen van beweging, kracht, massa en weerstand betreft en dat identificatie van impetus en inertie bij voorbaat uitsluit; op het feit, dat volgens scholastieke zienswijze traagheid een streven beduidt om in rust te blijven of, zo deze verstoord is, er toe terug te keren, terwijl ze volgens de klassieke opvatting in een in beweging verkerend lichaam juist de factor is die de beweging onderhoudt; op de ongegrondheid van de onderstelling, dat Buridan, om nadere precisering van zijn vage aanduidingen gevraagd, den impetus evenredig met de snelheid zou hebben gesteld, inplaats van tussen beide de veel gecompliceerdere relatie aan te nemen waardoor we (in II: 122) Bradwardine de grondwet der peripatetische dynamica zullen zien vervangen; op het feit ten slotte, dat de traagheid in klassieken zin een streven tot volharding in rechtlijnige eenparige beweging beduidt, terwijl Buridan, om het voortbestaan van de beweging van een draaiend wiel of een tol te verklaren, ook cirkelvormig werkende impetus aanneemt.

De overtuigingskracht waarmee dit betoog geleverd wordt, mag ons niet blind maken voor de zwakke plekken die het bevat. Vooreerst kan worden opgemerkt, dat het de bestreden opvattingen veel scherper formuleert dan ze door de aanhangers daarvan ooit zelf zijn voorgedragen: schrijver dezes is zich althans niet bewust ooit te hebben beweerd, dat in de impetustheorie het traagheidsbeginsel der klassieke mechanica feitelijk reeds wordt uitgesproken; hij heeft slechts opgemerkt, dat deze theorie een sterken invloed op het tot stand komen van de klassieke inertieleer heeft uitgeoefend en dat is een mening, die door de hierna te geven schets van de ontwikkeling der mechanica van Galilei tot Newton buiten iederen twijfel zal worden gesteld. Vervolgens moet er op gewezen worden, dat uit de scholastieke opvatting van de uitwerking van de traagheid bij het bewegen van een lichaam door een constante uitwendige kracht (zij kan in dit geval met den weerstand van het medium tot een algemenen weerstand verenigd worden) niets volgt omtrent die uitwerking in het geval van een projectum separatum, dat door zijn eigen intrinsieken en in het algemeen niet constanten impetus in beweging wordt gehouden. Terwijl het ten slotte niet van belang ontbloot is, dat wanneer Newton voorbeelden geeft van de uitwerking van wat hij de traagheidskracht noemt, daaronder

even goed als bij Buridan het draaiende rad voorkomt, zodat de grond legger van de klassieke mechanica in dit, evenals in menig ander opzicht (b.v. opvatting van de traagheid als een in het lichaam zetelende kracht) dichter bij de Terministen blijkt te staan dan bij de latere ontwikkeling van zijn eigen schepping.

Dit alles betreft uitsluitend den graad van verwantschap tussen de begrippen impetus en inertie; daardoor is echter nog niets beslist over de vraag, in hoeverre men in den impetus een vroegen vorm van het begrip impuls kan herkennen. Ook deze mogelijkheid wordt door A. Maier ontkend, maar, naar te vrezen staat, ligt aan die ontkenning een misverstand inzake het impulsbegrip ten grondslag. Zij doet het namelijk voorkomen, alsof impuls, in stede van een zelfstandige mechanische entiteit, eigenlijk niet meer zou zijn dan een onjuiste uitdrukking voor kinetische energie, die zij op haar beurt (het wordt hier moeilijk, haar gedachtengang te volgen) met inertie identificeert. Tot een volledige discussie van de betrekking tussen impetus en impuls komt zij daardoor niet toe; wel merkt zij op, dat deze beide begrippen in zoverre principieel verschillen, dat terwijl de impuls van een in beweging verkerend stoffelijk punt een gevolg is van de beweging, de impetus juist als de oorzaak daarvan moet worden beschouwd.

Zien wij af van de minder gelukkige qualificatie van den impuls als gevolg van de beweging (het is alsof we den leeftijd van een mens een gevolg van zijn leven zouden noemen of de hoogte van een boom een gevolg van zijn bestaan), dan kunnen we natuurlijk volmondig erkennen, dat hier inderdaad ontologisch (d.w.z. wat het wezen van de zaak betreft) een principieel verschil aanwezig is: de impuls is (naast snelheid, energie en derg.) een symptoom van een beweging en niet haar oorzaak, terwijl de impetus volgens de terministische opvatting, die in wezen orthodox-Aristotelisch is, de motor conjunctus is, die het projectum separatum voortdrijft.

Het is echter even duidelijk, dat er phaenomenologisch, dus als men alleen let op de wijze, waarop ze gebruikt worden of gebruikt zouden kunnen worden, niet het minste verschil tussen de twee begrippen bestaat. Of men de grootheid *mv* als symptoom van de beweging van een stoffelijk punt beschouwt of als een actieve oorzaak, die het voortbestaan van een beweging eerst intelligibel maakt (men mag haar een kracht noemen, als men dit woord maar niet verstaat in den specialen technischen zin van het product van massa en versnelling, waarin de klassieke mechanica het gebruikt) heeft op de wijze, waarop men er mee werkt, geen enkelen invloed; een hedendaags neo-Thomistisch physicus, die de tweede opvatting aanhangt[17], zal in berekeningen waarin de grootheid *mv* voorkomt, niet tot andere resultaten komen dan zijn positivistische vakgenoot, die de eerste huldigt.

114. Hoe bruikbaar het impetusbegrip practisch is, blijkt wel het aller-

duidelijkst, wanneer we de boven (II: 112) reeds kort weergegeven terministische verklaring van het toenemen van de snelheid in de valbeweging nader beschouwen. Bij eerste kennismaking kan het den schijn hebben, alsof zij een vicieusen cirkelgang inhoudt, doordat zij den impetus enerzijds als gevolg en anderzijds als mede-oorzaak van de valbeweging beschouwt: hoe sneller immers de beweging wordt, des te groter wordt de impetus, maar doordat de impetus steeds groter wordt, neemt de snelheid voortdurend toe.

Toch schuilt er in deze redenering een juiste grondgedachte: wanneer men het vallend lichaam beschouwt aan het einde van een tijdvak Δt, dat begonnen is toen het werd losgelaten, heeft het een snelheid verworven, die we door v willen voorstellen; het bezit daardoor een impetus mv. Wanneer nu de zwaarte ophield te werken, zou deze impetus, opgevat als inwendige actieve bewegingsoorzaak, het lichaam in een eenparige beweging met snelheid v houden. Maar de zwaarte blijft ook werken; in het volgende tijdvak Δt doet ze wat ze ook in het eerste deed, namelijk een snelheid v teweegbrengen. Daardoor groeit de impetus tot $2mv$, d.w.z. het lichaam bezit thans het vermogen, uit eigen kracht een eenparige beweging met snelheid $2v$ uit te voeren. Bovendien blijft de zwaarte ook werken en zo voort. De snelheid zal dus gestadig groeien.

De gehele redenering strookt nu echter volkomen met Buridan's uitlatingen: ‘omdat de beweging sneller wordt, wordt ook de impetus groter en sterker en dus wordt het lichaam bewogen door zijn natuurlijke zwaarte samen met den groteren impetus en dus gaat het zich weer sneller bewegen.’ Op ieder ogenblik representeert de impetus de reeds verworven snelheid, terwijl de zwaarte voortdurend nieuwen impetus voortbrengt. Zij doet dit echter *mediante motu*, door middel van beweging, en daarin schuilt natuurlijk een denkmoeilijkheid.

Het blijft namelijk duister, wat er zich in het eerste tijdvak Δt heeft afgespeeld. Dat blijft zo, hoe klein men Δt ook kiest; men kan niet begrijpen, hoe de zwaarte het aanlegt om het lichaam snelheid te geven en zoals zo vaak blijkt de gegeven verklaring daarop neer te komen, dat men in het klein intelligibel acht, wat men in het groot verklaren moet. Wij weten echter reeds sedert Zeno van Elea, dat hier een essentiële moeilijkheid van het bewegingsbegrip schuilt: wij kunnen ons geen aanschouwelijke voorstelling van het begin van een beweging vormen; we kunnen alleen constateren, dat na verloop van een zeker tijdvak het bewegende punt niet meer in zijn oorspronkelijken stand is. De klassieke mechanica springt bij de behandeling van den vrijen val als het ware over deze moeilijkheid heen door te zeggen, dat de constante zwaarte een versnelling veroorzaakt; daaruit dan de eigenschappen van de beweging af te leiden is een zaak van rekenen, niet van voorstellen.

We merken nog op, dat het begrip impetus, hoe nauw ook met het impulsbegrip der klassieke mechanica verwant, toch in zijn qualiteit van

motor conjunctus geheel thuishoort in de spheer der Aristotelische physica; vandaar dat het ook zo voortreffelijk harmonieert met de grondgedachte der peripatetische dynamica. De impetus wordt beschouwd als de kracht die de beweging veroorzaakt en inderdaad is ze evenredig met de snelheid van die beweging. Het is in dit verband tekenend, dat sommige scholastici inplaats van impetus ook *gravitas accidentalis*, toegevoegde zwaarte, zeggen.

115. De boven gegeven rechtvaardiging van den gedachtengang die Buridan voor den geest moet hebben gezweefd, mag niet zo worden verstaan, als zoude het resultaat waartoe de redenering voert, de evenredigheid tussen de verworven snelheid en den sedert het begin der beweging verstreken tijd, reeds door hem bereikt zijn, als zoude hij dus geweten hebben, dat de vrije val een eenparig versnelde beweging is. Zover is noch Buridan noch een der andere Terministen gekomen. Van een bepaalde valwet is alleen sprake bij Albert van Saksen; echter laten de redeneringen, waaruit hij haar afleidt, zich niet, als die van Buridan, in het kader der klassieke mechanica inpassen. Zijn methode bestaat hierin, dat hij verschillende wijzen beschouwt waarop de snelheid van een vallend lichaam zou kunnen aangroeien, wanneer het door Aristoteles toegepaste lemma gelden moet, dat bij val over oneindigen afstand ook de snelheid oneindig groot zou moeten worden. Dat is bij de door hem beschouwde mogelijkheden (waaronder de evenredigheid van snelheid en tijd *niet* voorkomt) slechts dan het geval, wanneer ze evenredig is met den doorlopen weg. Deze ‘valwet van Albert van Saksen’ zal later nog vaak als de meest voor de hand liggende onderstelling worden uitgesproken, totdat Galilei na aanvankelijk ook door haar te zijn bekoord (IV: 89), haar ondenkbaarheid (het lichaam zou nooit kunnen beginnen te vallen) zal aantonen.

c. *Oresme en de graphische voorstelling van intensiteitsverandering van qualiteiten*[18]

116. Het doel dat we in dit boek vervolgen en dat uitsluitend bestaat in het verwerven van inzicht in het ontstaan van de mechanistische natuurwetenschap, verplicht niet tot een volledige behandeling van de geschiedenis van het physisch denken. Het laat dus toe, dat figuren die in hun eigen tijd niet zonder betekenis waren, maar waarvan weinig persoonlijke invloed, hetzij remmend, hetzij bevorderend, op de historische ontwikkeling is uitgegaan, in de schaduw worden gelaten, maar het brengt daartegenover de verplichting mee, op denkers van wie men weet of althans vermoeden kan, dat zij zulk een werking wel hebben uitgeoefend, het volle licht te laten vallen op gevaar af, dat zij daardoor in het beeld van hun eigen tijd te veel op den voorgrond zullen komen.

Het is uit dien hoofde, dat wij hier een afzonderlijke behandeling gaan wijden aan een veertiende-eeuwsen scholasticus, die naast Buridan wel

als de belangrijkste vertegenwoordiger van de natuurwetenschappelijke stroming in het Parijse terminisme gelden mag, aan Nikolaas van Oresme, die gewoonlijk met den naam van zijn geboorteplaats kortweg Oresme genoemd wordt.

Van de werkzaamheid van dezen veelzijdigen geleerde interesseren ons voornamelijk twee kanten en wel: 1) zijn invoering en toepassing van graphische voorstellingen en 2) zijn beschouwingen over astronomie. De behandeling van het eerste onderwerp vereist echter een korte inleiding over twee in de veertiende-eeuwse scholastiek behandelde theorieën, waarbij Oresme met zijn nieuwe hulpmiddel aanknoopt, namelijk het probleem van de intensiteitsverandering der qualiteiten en de leer der z.g. calculationes.

α. Versterking en verzwakking van qualiteiten

117. De door Aristoteles geleerde onderscheiding tussen de categorieën van quantiteit en qualiteit, tussen de discrete hoeveelheid en de continue grootheid aan den enen kant en den toestand, de eigenschap, het vermogen aan den anderen, heeft in de Scholastiek reeds vroeg de aandacht gevestigd op het kardinale verschil, dat er tussen het toe- of afnemen in het quantitatieve en versterking of verzwakking in het qualitatieve bestaat. Als een lichaam wanner wordt dan het eerst was, een vlak helderder verlicht, een mens wijzer of rechtvaardiger, gebeurt er iets heel anders dan wanneer twee hoeveelheden zich tot een grotere verenigen of een lichaam toeneemt in volume, doordat een ander er aan wordt toegevoegd. Men krijgt geen warm lichaam door vele koude naast elkaar te zetten en uit samenwerking van een aantal dwazen resulteert geen wijsheid.

Het probleem, hoe men zich de versterking (*intensio*) en verzwakking (*remissio*) van een qualiteit dan wèl moet denken, heeft in de dertiende en veertiende eeuw aanleiding gegeven tot beschouwingen die zo uitvoerig zijn en met zo vele andere kwesties samenhangen, dat we ze hier zelfs niet beknopt kunnen weergeven. Terwijl we dus voor diepergaande studie van het onderwerp naar de speciale literatuur verwijzen, vermelden we hier slechts enkele trekken, die voor een juist begrip van het optreden van Oresme van belang zijn.

Dat de Scholastiek aan het probleem van de intensiteitsverandering van een qualiteit steeds zoveel aandacht is blijven wijden, is voor een groot deel daaraan toe te schrijven, dat het in verband werd gebracht met een theologisch vraagstuk; we zagen reeds vaker (II: 111), hoe zulk een verband de studie van problemen die voor de geschiedenis van de natuurwetenschap van belang zijn, kon stimuleren. In de *Sententiae* van Petrus Lombardus was namelijk de vraag aan de orde gesteld, of de charitas in den mens (die als een werking van den H. Geest beschouwd werd) voor verandering vatbaar is in dien zin, dat zij op verschillende tijdstippen meer of minder intens kan zijn.

De voor-Thomistische scholastiek legt tussen deze vraag en het intensiteitsprobleem voor zinlijke qualiteiten nog geen uitgesproken verband; van Thomas af geschiedt dit echter geregeld en daardoor wordt de behandeling van intensio en remissio van intensieve grootheden voor iedereen, die over de *Sententiae* spreken moest (wat een verplicht onderdeel van de studie voor het doctoraat in de theologie was) onvermijdelijk.

Het zijn voornamelijk twee vragen, waarop de aandacht zich concentreert. Vooreerst: wat is het, dat de intensiteitsverandering ondergaat? Groeit de qualiteit (de warmte van een lichaam, de helderheid van een verlicht vlak, een smaak, een toon, een geur) zelf òf verandert de mate, waarin het quale (d.i. het met de qualiteit aangedane lichaam) aan de onveranderlijk gedachte qualiteit deel heeft òf verdwijnt de aanwezige qualiteit om door een andere vervangen te worden? In scholastieke termen: geschieden de intensio en remissio *secundum essentiam* (of *essentialiter*), *secundum participationem* (later ook: *secundum esse*) of *sicut dies* (zoals de ene dag verdwijnt en door een anderen vervangen wordt)?

De tweede vraag komt alleen aan de orde, wanneer men het derde antwoord op de eerste verwerpt en nu nader ingaat op de wijze, waarop zich de intensiteitsverandering voltrekt. Het gaat er vooral om, of men zich die verandering al dan niet moet denken als een toevoegen of wegnemen van een gelijksoortige qualiteit. Dat kan kennelijk niet in dien zin plaats hebben, dat men in een sterker geworden qualiteit nog de oorspronkelijke zwakkere zou kunnen aanwijzen, zoals dat bij vermeerdering in het quantitatieve mogelijk is. Wanneer men dus aan een groei *per additionem* (door toevoeging) denken wil, moet men trachten te begrijpen, hoe de nieuw toegevoegde qualiteit met de oorspronkelijke tot een eenheid heeft kunnen versmelten (probleem van het *unum fieri*).

118. Ook zonder dat we ingaan op de verschillende antwoorden die op deze vragen gegeven zijn, kunnen we uit het bovenstaande reeds een duidelijken indruk krijgen van het ontologisch karakter, dat speciaal het scholastieke denken der dertiende eeuw kenmerkt, van het nooit aflatend streven, na te speuren wat de dingen naar hun wezen eigenlijk zijn en wat er in de veranderingen die we ze zien ondergaan, eigenlijk gebeurt. Opnieuw beduidt nu echter het nominalisme van de veertiende eeuw een verdringing van deze ontologische beschouwingswijze door een meer phaenomenologische, waarin men er zich mee tevreden stelt, te constateren wat er voorvalt en dat met passende termen te beschrijven. Zo vraagt Ockham niet meer in de eerste plaats naar de wijze, waarop het sterker en zwakker worden van een qualiteit in zijn werk gaat maar hij zoekt een criterium om uit te maken, wanneer een woord de adjectiva sterk en zwak gedoogt en wanneer men er groot en klein mee kan verbinden. Hij licht dat toe aan de voorbeelden van rechtvaardigheid en witheid; een witheid kan intenser zijn dan een andere maar ook groter, namelijk als er een grotere oppervlakte wit is gemaakt. Had hij de beschikking gehad over onze

natuurwetenschappelijke terminologie, dan zou hij er op hebben kunnen wijzen, dat men van een hoge of lage potentiaal of temperatuur, van een hoog of laag niveau, maar van een grotere of kleinere electrische lading, hoeveelheid warmte of hoeveelheid water spreekt. Naar den grond van dit onderscheid gevraagd, geeft hij een typerend nominalistisch, positivistisch, empiristisch antwoord: 'Ik zeg, dat hiervoor geen andere grond bestaat dan dat de natuur van het ene zo en die van het andere anders is'[19]

Zoals hij bij de behandeling van het begrip beweging den motus niet als een zelfstandige realiteit naast het mobile wilde erkennen (motus is immers slechts een woord, dat uitdrukt, dat het mobile niet voortdurend op dezelfde plaats blijft) identificeert hij nu de qualitas met het quale, de hoedanigheid met het ding dat met die hoedanigheid is aangedaan; kleur is niet iets zelfstandigs bestaands naast het gekleurde lichaam. Daarmee verliest echter de vraag, welke van de twee de drager van de intensio en de remissio is, haar betekenis. Men voelt telkens in zijn denken de tendentie, die in de mathematische natuurwetenschap der zestiende en zeventiende eeuw tot volle ontplooiing zal komen: de problemen, die de dertiende-eeuwse scholastiek aan de orde had gesteld en waaraan ze al haar denkkracht had gewijd, worden niet opgelost, maar door invoering van een gans anders gerichte beschouwingswijze uit den kring der belangstelling verdrongen; men voelt ze als onwezenlijk en ontkomt er aan door ze te negeren.

Een kenmerkende en historisch belangrijke trek van de Ockhamistische visie op het intensiteitsprobleem is de nauwe analogie, die zij tussen intensio en remissio van een qualiteit enerzijds en de snelheidsverandering in een locale beweging anderzijds vestigt, waarbij het begrip beweging, zoals we boven reeds zagen, zuiver phaenomenologisch, d.w.z. kinematisch, beschouwd wordt. Het was een vergelijking die men reeds eerder beproefd had: analogie is nu eenmaal een essentieel scholastiek denkmiddel. Echter had men toen de intensio en remisssio met de beweging zelf, dus intensiteitsverandering met plaatsverandering, laten corresponderen en dat had tot niets geleid. Nu kwam echter naast de qualiteit de instantane snelheid, opgevat als bewegingsintensiteit, te staan, terwijl intensio met versnelling correspondeerde. Dat was een vruchtbare gedachte, die niet zonder uitwerking zou blijven.

β. Calculationes[20]

119. Het is een gangbare opvatting, dat een van de meest kenmerkende verschilpunten tussen scholastieke en nieuwere physica daarin bestaat, dat de eerste uitsluitend qualitatief van aard was, terwijl in de tweede de quantitatieve beschouwingswijze overheerst. Deze kenschets is ongetwijfeld juist, wanneer er mee bedoeld wordt, dat in de peripatetische natuurwetenschap het begrip qualiteit een zeer veel belangrijker plaats

innam dan in de klassieke, waarin zoveel mogelijk geprobeerd wordt, qualitatieve verschillen tot quantitatieve terug te brengen; zij zou echter, althans wat de veertiende eeuw aangaat, minder juist zijn, wanneer ze de miskenning inhield van het feit, dat er in de Scholastiek een streven heeft bestaan om qualiteiten, met volledig behoud van hun zelfstandige betekenis, quantitatief te behandelen. De gehele theorie van intensio en remissio van qualiteitsintensiteiten stuwde het denken in die richting en de leer der *Calculationes*, waarover we thans het een en ander zullen zeggen, is zelfs te omschrijven als een poging, rekenkundige en algebraische redeneringen niet alleen in natuurwetenschappelijke, maar ook in algemeen wijsgerige en theologische problemen toe te passen.

Het behoeft wel nauwelijks gezegd te worden, dat men het woord algebra hier nog niet moet verstaan in den zin van een volledige letter-symboliek voor alle voorkomende grootheden, onverschillig of dit constanten of variabelen, bekende of onbekende getallen zijn. Zover zal het eerst in de zeventiende eeuw komen; in het verband dat ons bezig houdt (waar ook de leer van de algebraische vergelijkingen nog geheel buiten blijft) heeft men alleen te denken aan het voorstellen van veranderlijke grootbeden door letters, zoals Aristoteles dit b.v. reeds in de regels die gezamenlijk de grondwet van zijn dynamica constitueren, gedaan had.

In de veertiende eeuw heeft deze wijze van aanduiding, die als uitdrukking *in terminis* bekend staat, aanvankelijk nog meer de functie van een afkortende spreek- dan van een voorbereiding tot een rekenwijze: men noemt iets *a* om de gedachten te bepalen en er later kort naar te kunnen verwijzen. Langzamerhand gaat men de letters echter speciaal gebruiken voor grootheden of voor begrippen die men min of meer geforceerd als grootheden beschouwt en gaat men er ook mee rekenen. Daardoor ontstaat dan de vooral in Oxford beoefende tak der Scholastiek dien men de *Calculationes* pleegt te noemen.

Deze wetenschap heeft al heel spoedig de grenzen die er van nature aan gesteld waren, naar alle kanten overschreden; haar beoefenaren gingen rekenen met begrippen die òf naar hun aard in het geheel niet voor quantitatieve bepaling in aanmerking kwamen, zoals zonde, liefde en genade, òf er althans in dien tijd nog niet vatbaar voor waren, zoals warmte en andere qualiteitsintensiteiten. Daardoor kwam het zover, dat zelfs in commentaren op de *Sententiae* van Petrus Lombardus complete mathematische verhandelingen werden ingelast. A. Maier vermeldt een geval, waarin het probleem of een priester iemand die gewetensbezwaren heeft tegen het lezen van de H. Schrift, daartoe kan verplichten, met een van die verwonderlijke scholastieke gedachtengangen, waar men altijd vreemd tegenover blijft staan, aanleiding geeft tot een uitweiding over de leer van maxima en minima.

Natuurlijk zijn er ook gebieden waarop de toepassing van de calculationes volledig bestaansrecht heeft en daartoe behoort voor alles de leer

der locale beweging, in verband met haar oorzaken beschouwd. En op dit terrein verkrijgt de methode ook een positieve historische betekenis; de bewegingsleer is naast de leer van het evenwicht en de optica ten allen tijde die tak der natuurwetenschap geweest die het meest voor mathematische behandeling vatbaar bleek en wat de veertiende-eeuwse calculatores op dit gebied tot stand hebben gebracht, is dan ook in denzelfden zin als het werk van Oresme als een voorbereiding op de mechanica van de zestiende en zeventiende eeuw te beschouwen.

120. We zullen als voorbeeld van een calculatio op het gebied der mechanica een merkwaardige poging tot mathematische formulering van de grondwet der peripatetische dynamica behandelen, waarop A. Maier de aandacht heeft gevestigd. Zij komt voor in het in 1328 ontstane *Tractatus Proportionum* van den Engelsen wiskundige Thomas Bradwardine. Het probleem is, hoe de snelheid v van een mobile, dat in beweging wordt gehouden doordat een bewegende kracht K den weerstand W overwint, bij verandering van de verhouding K: W verandert.

Het is natuurlijk niet onmiddellijk duidelijk, hoe dit nog een probleem kan zijn. Aristoteles zegt er immers zoveel van, dat we, op de anachronistische uitdrukkingswijze na, de betrekking

$$V = C \cdot \frac{K}{W} \text{ met de bijconditie } K > W$$

als samenvatting van zijn mededelingen konden geven (I: 35) en ook al kon men dat in de veertiende eeuw nog niet op deze wijze uitdrukken, men kon toch in woorden zeggen, dat v met K recht en met W omgekeerd evenredig is. Merkwaardig genoeg verwerpt echter Bradwardine deze stelling geheel en al en wel ten eerste op dezen grond, dat men er niet uit kan afleiden, wat er gebeurt als K en W gelijktijdig veranderen (hij mist dus kennelijk nog het begrip van de samengestelde evenredigheid) en vervolgens hierom, dat er uit zou volgen, dat iedere willekeurig kleine kracht ieder willekeurig zwaar lichaam in beweging kan brengen. De onopzettelijke dagelijkse ervaring leerde inderdaad ten duidelijkste, dat dat niet het geval is en men kon nog niet weten, dat men hier op een terrein verkeert, waarop een beroep op die ervaring eer misleidend dan verhelderend werkt; ook volgens de klassieke mechanica brengt immers een willekeurig kleine kracht een lichaam van willekeurig grote massa in beweging, maar men kan dat niet op de proef stellen door een kind tegen een vrachtwagen te laten duwen.

Bradwardine neemt nu aan, dat de ware toedracht van de zaak deze is, dat de verhouding waarin de snelheid verandert, de wijze waarop de verhouding van kracht en weerstand zich wijzigt, ‘volgt’ en hij zegt daarmee iets, dat in het oog van een hedendaagsen lezer òf geheel onbepaald is, namelijk wanneer met ‘volgen’ alleen het bestaan van een afhankelijkheid bedoeld wordt, òf samenvalt met de Aristotelische formulering,

namelijk als die afhankelijkheid bepaald wordt als een rechte evenredigheid. Zijn bedoeling is echter noch het ene noch het andere; om duidelijk te maken waaruit ze wel bestaat, zullen we echter eerst iets moeten zeggen over de voor onze tegenwoordige uitdrukkingsgewoonten zo vreemde en verwarrende terminologie van de middeleeuwse verhoudingsleer[21].

121. Deze bestaat hierin, dat, wanneer gesproken wordt van het optellen van twee verhoudingen, bedoeld wordt, dat de breuken die deze verhoudingen uitdrukken, met elkaar vermenigvuldigd moeten worden, terwijl het vermenigvuldigen van een verhouding met een positief rationaal getal *n* beduidt, dat de representerende breuk tot de n^e macht zal worden verheven. De som der redens *a*:*b* en *c*:*d* is dus de reden *ac*:*bd*, het *n*-voud van de reden *a*:*b* is de reden a^n:b^n. De zaak wordt nog wonderlijker, als men verneemt, dat, terwijl het geen zin heeft van het vermenigvuldigen van twee redens met elkaar te spreken, een reden wel door een andere kan worden gedeeld, we zullen hierop echter niet ingaan, terwijl we ook de verklaring van al deze zo vreemd aandoende zegswijzen op grond van terminologische eigenaardigheden van de Euclidische redentheorie in het midden zullen laten.

De beschreven uitdrukkingswijze heeft zich tot in de achttiende eeuw gehandhaafd en is voor latere lezers, die er zich telkens weer aan stieten, dat het tweevoud van 3 weliswaar 6, maar het tweevoud van de reden 3:1 de reden 9:1 is, altijd een bron van misverstand gebleven. Dit misverstand wordt, althans wat de veertiende eeuw betreft, nog verergerd door de omstandigheid, dat men zich er niet de minste rekenschap van gaf, wat het eigenlijk betekent wanneer een natuurkundige grootheid door een getal wordt uitgedrukt. Zo spreekt men van een snelheid 2 of 3 zonder enig blijk van besef, dat dit ook verhoudingen zijn, namelijk tot de snelheidseenheid; men behandelt deze waarden geheel als onbenoemde getallen.

122. Na deze inleiding zijn we in staat, Bradwardine te begrijpen, als hij zegt, dat de snelheid de verhouding van kracht tot weerstand volgt; hij bedoelt daarmee, dat als de laatste verhouding *n* maal zo groot wordt, ook de snelheid *n* maal zo groot wordt en dat betekent, dat men om het *n*-voud van de snelheid te krijgen, de verhouding *K*: *W* tot de n^e macht moet verheffen. In modern tekenschrift komt dit neer op de betrekking

$$V = C \,.\, \log \frac{K}{W}$$

waarbij, evenals in de Aristotelische formule (1), $K > W$ ondersteld wordt. We zullen (2) verder de betrekking van Bradwardine noemen.

De auteur ziet het grote voordeel van deze relatie boven de Aristotelische daarin, dat wanneer eenmaal bij gegeven waarden van *K* en *W* beweging blijkt in te treden (wanneer dus $K > W$ is), men de verhouding *K*:*W* door ieder willekeurig positief rationaal getal *n* kan delen zonder dat

er een geval kan optreden waarin geen beweging ontstaat. Wanneer immers:

$$\frac{K}{W} > 1 \quad \text{is ook} \quad \left(\frac{K}{W}\right)^{1/n} > 1.$$

Door de verhouding *K*:*W* op de beschreven wijze te laten veranderen kan men dus aan de snelheid alle mogelijke waarden geven; in het bijzonder nadert zij tot o, wanneer de verhouding van kracht en weerstand tot 1 nadert. Om echter bij geldigheid van de Aristotelische relatie (1) een *n*-maal zo kleine snelheid te krijgen, zou, bij gegeven *K, W n*-maal zo groot moeten worden; wanneer dan echter *n. W* > *K* zou zijn, zou de betrekking helemaal niet toegepast mogen worden. Bradwardine zou het tweede bezwaar, dat hij er tegen uitspreekt, beter zó hebben kunnen formuleren dan, zoals we hem boven zagen doen, den Stagiriet de bewering in de schoenen te schuiven, dat een willekeurig kleine kracht een willekeurig zwaar lichaam in beweging zou kunnen brengen, want dat kan men uit (1) alleen dan afleiden, wanneer men de bijconditie veronachtzaamt.

Hoewel het hier gaat om een uit de lucht gegrepen mathematische formulering van een natuurwet die niet geldt, is de redenering van Bradwardine geenszins van historisch belang ontbloot. Zij getuigt van een zoeken en tasten naar een mathematische uitdrukking van een onderstelde functionele afhankelijkheid, waarin een behoefte aan precisering van een in de natuur vermoede wetmatigheid tot uiting komt. En ze is voor ons leerzaam als symptoom van de grote moeilijkheden die overwonnen zouden moeten worden, voordat men er in zou slagen, de verschijnselen der natuur in de taal der wiskunde te beschrijven.

123. Die moeilijkheden kwamen, zoals uit het bovenstaande wel heel duidelijk blijkt, niet alleen daaruit voort, dat men van onjuiste physische onderstellingen uitging; ze werden evengoed veroorzaakt door eigenaardigheden en tekortkomingen van de wiskundige taal. Deze was namelijk nog steeds die van de *Elementen* van Euclides, een zeer speciale, veelal stroeve en door bepaalde onder invloed van wijsgerige opvattingen gestelde exactheidseisen sterk aan banden gelegde uitdrukkingswijze. Zo was het, om een voorbeeld te ontlenen aan het onderwerp dat ons bezighoudt, onmogelijk om over een snelheid te spreken als over een verhouding van een weg tot een tijd, een formulering, die de hedendaagse wiskunde als practisch toelaatbare zegswijze voor het feit, dat het quotient van de getallen, die de waarden van weg en tijd in de daarvoor gekozen eenheden uitdrukken, de waarde van de snelheid in de bij die eenheden behorende snelheidseenheid uitdrukt, wel aanvaarden kan. In de Euclidische wiskunde kan men alleen van de verhouding van twee gelijksoortige grootheden spreken, d.w.z. van twee grootheden met de eigenschap, dat elk van hen een veelvoud bezit dat de andere overtreft. Bradwardine kan dus wel de verhouding van de bewegende kracht tot den weerstand beschou-

wen, maar niet de snelheid vinden als een quotient van weg en tijd. Nog eeuwen lang zal de mechanica zich door deze Euclidische beperking in de ontwikkeling van haar uitdrukkingswijze belemmerd zien.

124. Het *Tractatus Proportionum* van Bradwardine, waaraan het bovenstaande is ontleend, heeft in de latere Middeleeuwen een zeer sterke verbreiding gevonden en een krachtigen invloed uitgeoefend. In de eerste plaats hebben zijn onmiddellijke leerlingen van Merton College te Oxford zijn gedachten en methoden verder uitgewerkt en daarbij werken voortgebracht die tot in de zestiende eeuw het wis- en natuurkundig denken zouden beheersen. Dit zijn vooral Suisset, die door zijn werk *Calculationes* den naam van Calculator verwierf, waarmee hij even ondubbelzinnig werd aangeduid als Paulus *de* Apostel, Aristoteles *de* Philosoof en Averroës *de* Commentator heette, Willem van Heytesbury met een invloedrijk werk *De motibus* en de anonyme auteur van een eveneens sterk verspreiden *Tractatus de sex inconvenientibus*. Zij allen hebben de door hun leermeester opgestelde dynamische relatie gebruikt voor alle functionele afhankelijkheden die zich maar konden voordoen of lieten verzinnen, onverschillig of ze tot het terrein van de beweging in den algemenen Aristotelischen zin van het woord behoorden of tot de gebieden van psychologie, ethica en theologie.

Verder hebben echter ook de Parijse Terministen de betrekking van Bradwardine eenstemmig als de juiste formulering van de dynamische grondwet aanvaard en haar zelfs, naar het voorbeeld van haar opsteller, gebruikt om er de door Aristoteles in woorden gegeven dynamische regels aan te toetsen: wordt werkelijk de snelheid twee maal zo groot als de verhouding K:W verdubbeld wordt? Het antwoord luidt, dat dit alleen uitkomt, als de verhouding K:W = 2:1; alleen voor dit geval komt namelijk het verdubbelen van de verhouding in den Euclidischen zin, dien Bradwardine alleen erkent, op hetzelfde neer als wat Aristoteles er onder verstaat (de betrekking $a^2 = 2a$ geldt voor $a \neq 0$ slechts voor $a = 2$). Op dezen niet zeer sterken grond worden de door Aristoteles gegeven regels in hun algemeenheid als onjuist verworpen; het traditionele respect voor den Stagiriet komt echter nog tot uiting in de onderstelling, dat er wel een fout zal zijn gemaakt bij het vertalen of copiëren.

γ. De theorie der latitudines[22]

125. In de aanvankelijk zuiver arithmetisch-algebraische wetenschap der Calculatores komt nu door toedoen van Oresme een gans nieuw element: hij voert namelijk een meetkundige voorstelling van de veranderlijkheid van de intensiteit van een qualiteit in en verrijkt daardoor alleen reeds, dus geheel afgezien van de resultaten die hij er in de behandelde onderwerpen door bereikte, de wetenschap met het uiterst belangrijke en in zijn historische betekenis zelfs moeilijk te overschatten methodische hulpmiddel der graphische voorstelling. Hij heeft namelijk - voorzover bekend is als eerste - de veranderlijke waarde van de intensiteit van een qualiteit

of van de snelheid van een beweging voor ieder punt van een lichaam of voor ieder ogenblik van een tijdvak voorgesteld door een in een bepaalde richting uitgezet lijnstuk en daarmee de eerste grafiek getekend. Daar de wijze waarop hij hierbij te werk gaat, in sommige opzichten identiek is met de tegenwoordig nog algemeen gebruikelijke, maar in andere daarvan principieel afwijkt, moeten we enigszins dieper op zijn theorie ingaan.

Het doel dat hij in zijn werk *Tractatus de configurationibus intensionum* of *De uniformitate et difformitate intensionum* vervolgt is allereerst, een aanschouwelijke voorstelling te geven van de bij de Calculatores reeds lang bekende en toegepaste begrippen van *uniformitas* (eenvormigheid) en *difformitas* (niet-eenvormigheid) van qualiteiten of snelheden. Hij behandelt eerst het geval van een qualiteit die voor elk punt van een lichaam (subjectum) een zekere intensiteit heeft; hij beschouwt haar, om het in moderne mathematische termen te zeggen, als functie van de plaats, scholastiek uitgedrukt, *quoad partes of quoad subjectum*. Zij heet nu *uniformis* (gelijkmatig verdeeld) wanneer de intensiteit in alle punten dezelfde waarde heeft, *difformis* (ongelijkmatig verdeeld) wanneer dat niet het geval is.

Wij denken ons nu in het subjectum een recht lijnstuk, de *longitudo*, en in ieder punt daarvan de bijbehorende intensiteitswaarde voorgesteld door een lijnstuk, *latitudo* genaamd, dat in een zeker vlak door de longitudo loodrecht op deze wordt uitgezet. Er ontstaat dan een vlakke figuur, die de *quantitas qualitatis* van de beschouwde lineaire (d.w.z. langs een lijn veranderlijke) qualiteit heet. Men kan op dezelfde manier te werk gaan, als men de qualiteit in de verschillende punten van een plat vlak beschouwt en verkrijgt dan een lichaam als quantitas van een qualitas superficialis. Uitbreiding van deze handelwijze op alle punten van een lichaam zou tot een vierdimensionale quantitas voeren. Oresme acht deze ondenkbaar en vergenoegt zich met de toevoeging van een driedimensionale quantitas aan elke van oneindig vele vlakke doorsneden van het lichaam. We kunnen ons in het volgende zonder schade voor het inzicht tot de lineaire qualiteiten en dus tot vlakke latitudo-figuren beperken.

Het verdient opmerking, dat de verkregen voorstelling van de veranderlijke intensiteit in eersten aanleg bestaat in het platte oppervlak dat door de totaliteit der uitgezette latitudines gevormd wordt; eerst later wordt ook gesproken over de kromme die al hun eindpunten bevat, de *linea summitatis* (bovenlijn). Verder is het wel duidelijk, dat de latitudo wel als een veranderlijke ordinaat in een coördinatenstelsel fungeert, maar dat men de longitudo niet met de veranderlijke abscis mag identificeren; longitudo is het gehele in het oog gevatte lijnstuk van het subjectum; er is maar één longitudo bij oneindig vele latitudines.

Blijkbaar geeft een uniforme qualiteit aanleiding tot een rechthoekige quantitas; is zij *uniformiter difformis* (op gelijkmatige wijze ongelijkmatig) d.w.z. is de intensiteitsverandering bij verplaatsing langs de longitudo evenredig met het bedrag dier verplaatsing, dan ontstaat een driehoek

of trapezium, terwijl in alle andere gevallen de bovenlijn een gebroken rechte of een gebogen lijn is. Oresme begeeft zich in een ver gaande classificatie van de verschillende mogelijkheden die zich hierbij kunnen voordoen, maar we zullen hem daarin niet volgen.

Van meer belang is het, de vraag te stellen, welk doel hij nu eigenlijk met de ingevoerde afbeelding beoogt. Gaat het alleen om een aanschouwelijke voorstelling van afhankelijkheden die men ook arithmetisch behandelen kan en die ook reeds arithmetisch behandeld waren, of beduidt de verkregen figuur (*figuratio* of *configuratio*) voor hem nog iets meer? Het laatste blijkt inderdaad het geval te zijn[23]; aan de configuratio wordt een zelfstandige physische betekenis gehecht. Oresme licht dit zelf als volgt toe: zoals de oude atomisten de specifieke werkingswijze van de verschillende stoffen toeschreven aan bijzondere ruimtelijke vormen der atomen, b.v. de zengende werking van het vuur aan de scherpte van hun punten, vormt de meetkundige configuratio van een quantitas den grond van het specifieke gedrag van de voorgestelde qualiteit; zij is meer dan alleen maar een afbeelding van de wijze, waarop de intensiteit van de beschouwde qualiteit bij verplaatsing langs de longitudo verandert; zij is in zekeren zin, namelijk wat het uiterlijk betreft, die qualiteit zelf, als geheel beschouwd, en deze werkt dan ook anders wanneer zij den vorm van een rechthoek heeft dan wanneer ze een andere gedaante aanneemt. Een rechthoekige warmte (deze paradoxe woordcombinatie zal thans reeds duidelijk zijn: een longitudo die in elk punt dezelfde temperatuur heeft) doet den tastzin anders aan dan een driehoekige of een waarvan de begrenzing een grillig verloop heeft.

Op dezelfde wijze als de activiteit van een qualiteit wordt ook de wijze waarop een lichaam op invloeden van buiten reageert, in verband gebracht met de figuratio van de daarbij betrokken qualiteiten. In het algemeen zal onregelmatigheid van de figuur der latitudines, ontstaan doordat de tegengestelde qualiteit zich telkens weer tussen de oorspronkelijke heeft ingedrongen, een lichaam meer vatbaar maken voor het ondergaan van veranderingen dan een gelijkmatig verloop. Ook de specifieke vermogens van planten en dieren en de occulte krachten van kruiden en stenen zullen er door verklaard kunnen worden; waardeverschillen van qualiteiten onderling vloeien voort uit schoonheidsverschillen in hun figuraties. De eigenschappen van een mixtum (chemische verbinding) hangen niet alleen af van de verhoudingen van de intensiteiten der samenstellende eerste qualiteiten, maar ook van hun figuraties; physische substanties, die dezelfde samenstelling uit de elementen bezitten, kunnen door figuratieverschil zich aanzienlijk van elkaar onderscheiden in aard en graad van volkomenheid. Gevoelens als haat en liefde, vriendschap en vijandschap en ook natuurverschijnselen als magnetische aantrekking zijn alle terug te brengen tot het al of niet overeenstemmen van de qualiteitsfiguraties.

126. Het is niet gemakkelijk om over deze theorie een billijk oordeel te vellen; men komt maar al te gemakkelijk in de verleiding, haar te beschouwen in het licht van nieuwere natuurwetenschappelijke inzichten en er dan de kiem van die inzichten in te ontdekken. In het bijzonder wekt de opmerking over de mixta de gedachte aan structuurtheorieën der moderne chemie en aan het begrip isomeer op. Daarom beschouwt b.v. P. Hoenen[23a] het door Oresme ontwikkelde denkbeeld als een genialen inval, die echter nog vijf eeuwen op haar verwerkelijking zou moeten wachten.

Tot een geheel ander waarde-oordeel komt men, wanneer men de theorie strikt in het licht van haar eigen tijd beschouwt, de vraag naar haar fundering in de feiten stelt en nagaat, in hoeverre ze het natuurwetenschappelijk denken vooruit heeft gebracht. Men zal dan eerder geneigd zijn, den nadruk te leggen op het volkomen speculatieve karakter van de voorstelling en zich stoten aan het puur fantastische en gezochte van de toepassingen die Oresme ervan maakt. Een poging om de verschillen in aard, vermogen en werking tussen een leeuw, een adelaar en een paard te verklaren uit verschillen in de figuraties van hun natuurlijke warmten, is niet zo heel geschikt om de overtuiging te vestigen, dat we hier met een serieuse wetenschappelijke theorie te maken hebben.

Het billijkst lijkt het, tussen deze beide uitersten in te blijven; men kan de aanwezigheid van een gedachte constateren waarin de kiem ligt van een deel van de later tot uiting gekomen tendentie, alle natuurverschijnselen te behandelen met behulp van begrippen als grootte, vorm en beweging, die vatbaar zijn voor mathematische formulering; maar men moet erbij vaststellen, dat die gedachte noch aan empirische feiten ontleend was noch daardoor gesteund werd en dat ze voorlopig nog geen vruchtbare toepassing in de natuurwetenschap zou vinden.

127. Er is in al het bovenstaande nog geen sprake geweest van het gebied waarop de nieuwe denkbeelden van Oresme waarlijk vruchtdragend zouden worden, dat der kinematica. Dit komt eerst in het tweede deel van zijn *Tractatus de configurationibus intensionum* aan de orde, waarin inplaats van een willekeurige qualiteit de snelheid van een beweging in haar afhankelijkheid, hetzij van de plaats in het mobile (*secundum partes mobilis*, b.v. bij een rotatie) hetzij van den tijd (*secundum partes temporis*) beschouwd wordt. We beperken ons hier tot het tweede geval. Hierin gaat de algemene onderscheiding uniformis-difformis over in die van eenparige en niet-eenparige beweging, terwijl het belangrijke speciale geval van de uniformiter difforme qualiteit dat van de eenparig veranderlijke beweging wordt. De longitudo stelt nu het tijdvak voor waarin de beweging plaats vindt, de latitudo wordt de instantane snelheid, beschouwd als intensiteit van de beweging.

Evenals bij de qualiteiten wordt nu ook aan de configuratie als zodanig een betekenis gehecht; zij moet thans de verklaring leveren van het feit, dat de uitwerking die de beweging van een lichaam heeft, verschillend kan

zijn al naar gelang die beweging regelmatig of met stoten verloopt. Oresme noemt als voorbeeld, dat sommige vissen door het net waarin ze gevangen zijn, heen, den visser een slag kunnen toebrengen; ze danken dat vermogen aan de configuratie van hun snelheid, den vorm van hun snelheids-graphiek. We moeten er echter evenzeer van afzien, de beschouwingen die hij aan dit onderwerp wijdt, verder te behandelen als we ons moeten onthouden van een bespreking van zijn beschouwingen over de muziektheorie en de ars magica, die het tweede boek verder bevat. Dit alles is voor wie een volledigen indruk van zijn wetenschappelijke persoonlijkheid krijgen wil, wel heel belangwekkend en leerzaam, maar het houdt slechts weinig verband met de kinematische resultaten waaraan hij zijn plaats in de geschiedenis der natuurwetenschap voor alles te danken heeft.

128. Deze zijn te vinden in de capita 5-7 van Boek III en handelen over het reeds bekende begrip van de quantitas qualitatis; thans gaat het in het bijzonder om de oppervlakte (mensura) van de latitudo-figuur of, zoals we voor een beweging ook kunnen zeggen, van het *v-t*-diagram.

Die oppervlakte wordt in overeenstemming met wat in de wiskunde van dien tijd naar antiek voorbeeld gebruikelijk was en nog eeuwenlang gebruikelijk zou blijven, niet uitgedrukt door een aantal oppervlakte-eenheden, maar ze wordt bepaald door er verhoudingsstellingen over uit te spreken. De mensura van een uniforme snelheid is dus niet zoveel oppervlakte-eenheden als het product van de aantallen lengte-eenheden van de longitudo en de constante waarde der latitudo bedraagt, maar er wordt gezegd, dat de verhouding van twee mensurae (minder exact ook wel: van twee qualiteiten) verkregen wordt door de verhoudingen van de longitudines en van de latitudines op te tellen, een voor den hedendaagsen lezer verwonderlijke manier van uitdrukken, die we echter boven (II: 121) reeds verklaard hebben.

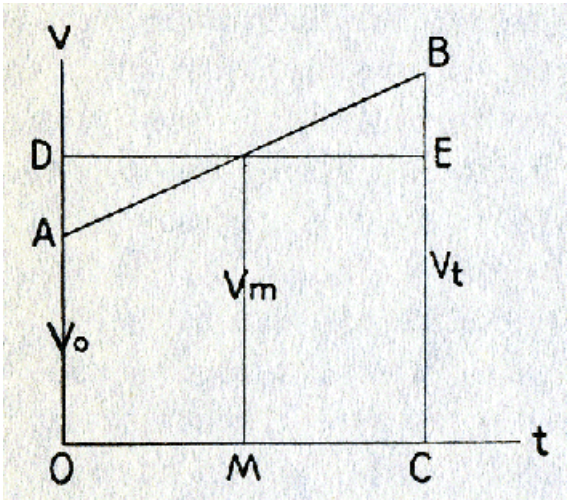


Fig. 9. Regel van Oresme. De weg, in zekeren tijd afgelegd in een eenparige beweging waarvan de snelheid groeit van V_o tot V_t, is gelijk aan den weg die in denzelfden tijd wordt afgelegd in een eenparige beweging waarvan de snelheid gelijk is aan die van de eenparig veranderlijke op het middelste ogenblik van het beschouwde tijdvak.

Om nu ook mensurae van difforme qualiteiten of snelheden met elkaar te kunnen vergelijken moeten de quantiteiten daarvan eerst in rechthoeken worden omgezet; hierbij treedt nu de regel op (Fig. 9), dat een uniformiter difforme qualiteit en dus ook een eenparig veranderlijke beweging dezelfde quantitas heeft als een uniforme qualiteit, resp. een eenparige beweging waarvan de constante latitudo gelijk is aan die van de veranderlijke qualiteit of beweging op het middelste ogenblik van het

beschouwde tijdvak. Het is de regel die door Duhem als regel van Oresme betiteld is en die in haar speciale toepassing op een locale beweging, waarvan de snelheid in een tijdvak van *t* tijdseenheden eenparig verandert van de waarde V_o tot de waarde V_t voor de mensura de waarde

$$\frac{V_o + V_t}{2} . t$$

of, als V_m de snelheid op het middelste ogenblik van het beschouwde tijdvak voorstelt, $V_m t$ geeft. Wanneer nu nog blijkt, dat Oresme het inzicht bezit, dat de mensura in dit geval den in het tijdvak *t* afgelegden weg voorstelt, zal hem de kennis kunnen worden toegeschreven van de fundamentele stelling over de eenparig veranderlijke beweging, die we tegenwoordig door de formule

$$S_t = \frac{V_o + V_t}{2} . t$$

uitdrukken.

Dat Oresme dit inzicht inderdaad bezeten heeft, kan echter niet in redelijkheid betwijfeld worden. Hij doet weliswaar niet de minste moeite, het uitdrukkelijk te bewijzen of zelfs maar uit te spreken, maar hij gebruikt het in kinematische vraagstukken als iets dat volkomen vanzelf spreekt. Sedert het bekend worden van Duhem's onderzoekingen over de Parijse scholastiek der veertiende eeuw is dit resultaat dan ook in wetenschapshistorische werken als een belangrijke bijdrage tot de ontwikkeling van de mechanica beschouwd en men heeft er speciaal aan Oresme een eervolle plaats in de geschiedenis der natuurwetenschap om verleend.

129. Deze eenstemmigheid is nu echter in den jongsten tijd verstoord door een kritisch geluid, dat A. Maier in een van haar studies over de veertiende-eeuwse natuurphilosophie heeft laten horen[24]. Zij is van mening, dat Duhem de betekenis van de stelling waaraan hij zo uitdrukkelijk den naam van Oresme verbonden heeft, heeft overschat en dat zijn beoordeling al te grif in de geschiedenis der mechanica ingang heeft gevonden. Opnieuw vereist haar zienswijze onze volle aandacht.

De z.g. regel van Oresme, aldus A. Maier, is niets anders dan de in de veertiende eeuw algemeen bekende en druk besproken stelling, dat een uniformiter difforme qualiteit overeenstemt met haar middelsten graad, een bewering waar anderen tegenoverstelden, dat ze niet met haar middelsten, maar met haar uitersten graad correspondeert. Dat is, zoals zij terecht betoogt, een stelling waarvan het voorkomen in den scholastieken gedachtengang weliswaar begrijpelijk kan worden gemaakt, maar waaraan in het algemeen helemaal geen physische zin verbonden wordt en ook niet verbonden kan worden; in de meeste gevallen heeft het voor de historische ontwikkeling der natuurwetenschap dan ook niet de minste betekenis of zij zelf dan wel haar tegenovergestelde aanvaard wordt.

In het geval van de eenparig veranderlijke beweging is die physische zin nu wel aanwezig: in een eenparig veranderlijke beweging wordt in een zeker tijdvak een even grote weg afgelegd als in een eenparige beweging waarvan de snelheid gelijk is aan die van de eenparig veranderlijke op het middelste ogenblik van dat tijdvak. Het was echter Oresme in het geheel niet mogelijk om aan te tonen, *dat* de regel in dit geval inderdaad deze betekenis heeft. Hij kon onder instantane snelheid niets anders verstaan dan intensiteit der beweging op het beschouwde ogenblik, maar hij kon dan onmogelijk weten, dat de verzameling van al die intensiteiten, zoals ze in de quantitas der latitudines voor ogen wordt gesteld, den afgelegden weg voorstelt; daartoe zou hij de snelheid als differentiaalquotiënt hebben moeten definiëren; dan zou de bepaling van de mensura een graphische integratie zijn geweest en het resultaat zou geldigheid hebben bezeten. Zoals de zaken echter in feite lagen, was de identificatie van mensura en afgelegden weg ongeoorloofd.

130. Men kan van deze redenering het eerste gedeelte, waarin betoogd wordt, dat het corresponderen van een uniformiter difforme qualiteit met haar middelsten graad in het algemeen physisch evenmin iets beduidt als dat met haar hoogsten, onmiddellijk toegeven, maar moet er dan bij opmerken, dat het ook niet deze algemene stelling is, waarom men Oresme zo waardeert. Het tweede deel is echter minder overtuigend. Want het feit ligt er nu eenmaal, dat Oresme de mensura van een uniformiter difforme snelheid als afgelegden weg interpreteert en men kan de betekenis van dit feit niet wegredeneren door te betogen, dat hij dat niet had mogen doen, omdat hij het niet op een volgens hedendaagse wiskundige opvattingen bevredigende wijze logisch kon verantwoorden. Het is een situatie, die zich in de geschiedenis der wiskunde herhaaldelijk heeft voorgedaan: mathematische begrippen worden vaak - men kan bijna wel zeggen: in den regel - reeds lang intuïtief gehanteerd, voordat men ze met volkomen scherpte kan omschrijven en fundamentele stellingen vaak intuïtief ingezien voordat men ze strikt kan bewijzen. De historische ontwikkeling der wiskunde zou een gans ander beeld gaan vertonen wanneer men alle stadia van onvolkomen exactheid eruit zou willen verbannen met de motivering, dat wat men daarin voor weten hield, geen waarlijk weten was. De infinitesimaalrekening, de theorie der limieten en die der oneindige reeksen zouden vóór de negentiende eeuw niet hebben bestaan, de axiomatische behandeling der meetkunde zou nog slechts enkele decennia oud zijn. En men zou, daar de eisen die men aan de exactheid van een wiskundige redenering stelt, zich met den tijd wijzigen, zelfs de kans lopen, dat in het oog van latere generaties een aanzienlijk deel van onze hedendaagse wiskunde in feite niet voorhanden zal zijn geweest. De consequenties waartoe deze opvatting leidt, houden haar weerlegging in.

Het is volkomen waar, dat Oresme en zijn tijdgenoten niet in strikten zin geweten hebben, wat men onder de instantane snelheid van een ver-

anderlijke beweging moet verstaan; ze omschreven haar echter niet alleen als intensiteit der beweging maar ook als de snelheid der eenparige beweging die zou ontstaan als het mobile van het beschouwde ogenblik af zo door zou gaan als het juist bezig is te doen. En dat is wel kennelijk een cirkelredenering; immers op de vraag wat *zo* betekent kan niet anders worden geantwoord dan door te zeggen: met de snelheid van het beschouwde ogenblik; maar men moet niet vergeten, dat Kepler en Galilei nog geen betere definitie hebben kunnen geven en wanneer men op grond van de gerechtvaardigde kritiek die men er op kan uitoefenen, de waarde van het resultaat dat Oresme er mee bereikte, in twijfel wil trekken, brengt dat consequenties ten aanzien van de grote wetenschappelijke figuren van de zestiende en zeventiende eeuw met zich mee die onmogelijk aanvaard zouden kunnen worden.

Men kan verder A. Maier volmondig toegeven, dat Oresme er geen vermoeden van zal hebben gehad, welke wel de draagwijdte van zijn regel was, zoals hij ook niet zal hebben kunnen voorzien, welk een toekomst aan de door hem ingevoerde methode der graphische voorstelling in het algemeen beschoren zou zijn. Maar vermindert dat de betekenis van het feit, dat hij den regel formuleerde en door een graphiek aanschouwelijk maakte?

Ter ondersteuning van haar betoog merkt A. Maier nog op[25], dat noch Oresme noch een zijner tijdgenoten op het denkbeeld is gekomen, den regel toe te passen op den vrijen val, hoewel in ander verband wel het vermoeden wordt uitgesproken, dat dit een voorbeeld van een uniformiter difforme beweging zou zijn. Dit is inderdaad een verwonderlijk feit en de verdiensten van Oresme zouden ongetwijfeld nog groter zijn als hij reeds gezien had wat men eerst ongeveer een eeuw later als een bekende zaak bij Dominicus Soto vermeld kan vinden, dat namelijk voor de berekening van den in zeker tijdvak afgelegden weg de beweging van een vrij vallend lichaam door een eenparige beweging met de snelheid van het middelste ogenblik vervangen kan worden. Maar aan den anderen kant blijven kinematische onderzoekingen hun waarde behouden, ook wanneer men ze niet op natuurverschijnselen toepast.

131. En zo lijkt het toch niet ongemotiveerd, van den regel van Oresme te blijven spreken en in zijn werk een belangrijke voorbereiding van de wiskundige natuurwetenschap te zien. Daarmee wordt dan echter niet beweerd, dat de vervanging waarover die regel spreekt, het eerst bij Oresme te vinden is. Zij behoort ongetwijfeld tot de gangbare inzichten van de veertiende-eeuwse Calculatores, maar het is een groot verschil, of men die vervangbaarheid in woorden formuleert en door rekenvoorbeelden toelicht of dat men haar, in het bezit van de intuïtieve overtuiging, dat de oppervlakte van de snelheidsgrafiek den afgelegden weg voorstelt, meetkundig illustreert. Eerst daardoor verkreeg de stelling de aanschouwelijkheid en de vatbaarheid voor uitbreiding die haar waarlijk vruchtbaar zouden maken.

Het werk van Oresme beduidt het begin van een ontwikkeling die van de grootste betekenis zou worden voor het ontstaan der nieuwere natuurwetenschap. We zullen de behandeling van de verdere lotgevallen van het denkbeeld der grafische voorstelling echter tot volgende hoofdstukken moeten uitstellen. Hier merken we nog op, dat Oresme de impetustheorie, die hij met de andere Parijzenaars aanvaardt, gebruikt om een verklaring te geven van het in de Scholastiek en nog lang daarna algemeen als reëel beschouwde verschijnsel van de initiale worpversnelling: men meende namelijk op grond van zekere ervaringen, opgedaan met schieten werptuigen, te moeten aannemen, dat een verticaal omhoog of zijdelings weggeschoten of -geworpen lichaam zijn maximale uitwerking (die met de snelheid evenredig werd gedacht) eerst enigen tijd na het begin der gedwongen beweging bezit. Oresme verklaart dit door te onderstellen; dat gedurende den tijd waarin het projectum nog door den werper zelf bewogen wordt, niet alleen de snelheid, maar ook de versnelling (in het vage te verstaan als snelheid der snelheidsaangroeiing) toeneemt. Aan het einde van de eerste phase der beweging is er dus niet alleen een met de snelheid evenredig te denken impetus ontstaan, maar er is ook een versnelling, die evenmin plotseling tot nul kan afnemen als ze plotseling in het leven is geroepen, maar die daartoe alle tussenliggende waarden moet doorlopen. De tweede phase is nu die der afnemende versnelling, die echter nog steeds, zij het ook in afnemend tempo, impetus voortbrengt. Deze bereikt haar maximum als de versnelling nul is geworden en wordt in de derde phase door de zwaarte geleidelijk tot nul gereduceerd, waarna de natuurlijke valbeweging begint. Op den scheven worp toegepast, leidt deze theorie tot de lang algemeen gedeelde overtuiging, dat het projectum na verloop van de eerste twee phasen verticaal omlaag valt.

d. *De structuur der materie*[26]

α. Het mixtio-probleem

132. Tot de vele problemen waarvoor Aristoteles door zijn lapidaire uitlatingen zijn commentatoren geplaatst heeft, behoort ook de in I: 28 reeds aangeroerde vraag, of en zo ja op welke wijze, in een echt mixtum (een *mixtum secundum veritatem*, niet een *mixtum ad sensum*, dat een gewoon mengsel is) de elementen waaruit het is ontstaan, nog aanwezig zijn. Dat is een zeer reëel natuurwetenschappelijk probleem, dat in de klassieke chemie nog volledig zijn reden van bestaan heeft behouden; wat Aristoteles een echt mixtum noemt, heet daar een chemische verbinding en hoewel men er onder element niet langer aarde, water, lucht of vuur verstaat, kan de vraag onveranderd worden overgenomen. Wanneer in het hedendaagse scheikunde-onderwijs voor beginnelingen gedemonstreerd wordt, dat men door zwavel en ijzer in een bepaalde gewichtsverhouding te mengen en het mengsel te verhitten, een nieuwe stof verkrijgt, die geen

zwavel en geen ijzer meer blijkt te zijn, is er alle aanleiding de vraag te stellen, of deze beide stoffen in de tot stand gekomen verbinding dan ook nog wel aanwezig zijn en een motivering te verlangen van het spraakgebruik, dat een verbinding laat *be*staan uit de stoffen waaruit ze is *ont*staan. En de moderne chemie heeft dat spraakgebruik voor de subatomen zelfs al opgegeven: men heeft niet het minste recht te beweren, dat wat in een compositum is ingegaan of er uit te voorschijn kan komen, er ook in zit.

Zoals we reeds zagen, had Aristoteles aan de ontkenning van het actueel bestaan van de elementen in een mixtum de erkenning verbonden, dat bun δύναμις behouden blijft. Hier beginnen nu echter al de moeilijkheden, want het is geenszins zonder meer duidelijk, wat hiermee bedoeld wordt. Men kan δύναμις door *potentia* vertalen en dus aan een potentieel voortbestaan denken, wat niet meer behoeft te betekenen, dan dat de elementen die het mixtum hebben geconstitueerd, er ook weer uit teruggewonnen kunnen worden; maar het kan ook door *virtus*, kracht of vermogen, worden weergegeven en dan staat er te lezen, dat de elementen zelf weliswaar niet in het mixtum aanwezig zijn, maar dat ze er niettemin op een of andere nader te onderzoeken wijze hun invloed in blijven uitoefenen. Inderdaad komen beide vertalingen voor; de meest gebruikelijke formulering is echter, dat de virtus der elementen in het mixtum behouden blijft (*salvatur virtus eorum*).

133. Om de verschillende interpretaties die de Scholastiek van dit virtuele voortbestaan der elementen in een mixtum gegeven heeft, te begrijpen, is het noodzakelijk, eerst goed te beseffen, dat het bij de vraag naar het voortbestaan uitsluitend gaat om de substantiële vormen der elementen (kort: elementvormen) en om hun qualiteiten, maar niet om de materie die door de elementvormen wordt geïnformeerd. Dat het dezelfde prima materia is die het mixtum als die de elementen helpt constitueren, lijdt geen twijfel. Maar het mixtum heeft een eigen substantiëlen vorm, die de prima materia juist tot deze bepaalde nieuwe stof actualiseert; de elementen waaruit het ontstaan is, hadden elk ook zulk een vorm; de vraag is, in hoeverre en op welke wijze deze elementvormen in de forma mixti voortbestaan.

Wanneer men alleen op de grondtrekken van de op deze vraag gegeven antwoorden let en de talrijke verschillen in nuance buiten beschouwing laat, kan men ze in drie groepen verdelen, die opv. door de namen van Avicenna, Averroës en Thomas te kenmerken zijn.

Volgens de opvatting van Avicenna bestaan de elementvormen in het mixtum voort; echter ondergaan de qualiteiten een remissio, een verzwakking van intensiteit. Daardoor versmelten ze tot een mengqualiteit (*complexio*), die de materie disponeert tot het aannemen van een nieuwen substantiëlen vorm, die van dien aard is, dat de complexio er bij past. Deze theorie heeft vooral in medische kringen veel aanhang gevonden;

de philosophen verwerpen haar echter eenstemmig: de homogeniteit van het mixtum zou vereisen, dat in elk deel ervan alle vier elementvormen aanwezig zouden zijn; echter kunnen volgens vaststaande Aristotelische beginselen nooit verschillende elementvormen gelijktijdig een zelfde materie informeren; de ene vorm kan er eerst bezit van nemen, wanneer de andere te loor is gegaan.

Volgens Averroës ondergaan niet slechts de qualiteiten der elementen, maar ook hun substantiële vormen een zekere remissio, die het hun mogelijk maakt, tot de forma mixti te versmelten. Dat is natuurlijk volkomen in strijd met de Aristotelische leer, dat substantiële vormen helemaal niet voor intensio en remissio, voor een meer of minder, vatbaar zijn. We vernamen boven (II: 107) reeds de Aristotelische formule: *formae sunt sicut numeri*: zoals een getal wèl drie kan zijn, maar niet in meerdere of mindere mate drie, terwijl het, als het geen drie is, twee of vier of iets anders is, kan iets mens zijn of niet-mens, maar niet in hoge mate of een beetje mens. Om aan dit bezwaar te ontkomen, neemt Averroës aan, dat de elementvormen geen echte substantiële vormen zijn, maar iets dat het midden houdt tussen een substantiëlen en een accidentelen vorm.

Volgens Thomas gaan bij het ontstaan van een mixtum uit de elementen de elementvormen te loor en blijven hun qualiteiten slechts in zoverre bewaard, dat zij, elkaar beïnvloedend, een gemiddelde qualiteit, *qualitas media*, doen ontstaan, die de materie disponeert tot het ontvangen van de forma mixti. Daar met en in de elementqualiteiten de vroegere elementvormen nog hun werking doen gevoelen, dus virtualiter voortbestaan, wordt volgens Thomas door de opgestelde theorie de Aristotelische stelling *salvatur virtus eorum* gerechtvaardigd. Tot op zekere hoogte doet de Aquiner, deze theorie opstellend, hetzelfde wat Aristoteles gedaan had, namelijk latere generaties voor het probleem plaatsen, uit te maken wat hij precies bedoeld heeft. Het is namelijk de vraag, of de uit de elementaire qualiteiten ontstane qualitas media bij het verdwijnen van de elementvormen blijft voortbestaan en dus als het ware door de forma mixti wordt overgenomen of dat zij met de elementvormen te loor gaat en de qualitas mixti alleen met haar overeenstemt zonder er nochtans numeriek identiek mee te zijn.

134. Van deze drie opvattingen wordt die van Avicenna steeds alleen vermeld om bestreden en verworpen te worden. De Averroistische vindt aanhangers van verschillende schakering, die zich onderling onderscheiden door de wijze, waarop zij de remissio van de elementvormen nader verklaren. Sommigen beschouwen haar eenvoudig als analoog aan de intensiteitsverzwakking van een qualiteit: zoals warmte meer of minder intens kan zijn, maar altijd warmte blijft, zou ook een substantiële vorm graadverschillen kunnen vertonen. Anderen, waaronder Roger Bacon, zien in de onderstelde verzwakte elementvormen een phase van een geleidelijken overgang van potentieel naar actueel zijn. Zulk een tussenvorm

van potentie en akt wordt, op andere gronden, ook door Dietrich van Freiberg aangenomen. In zijn theorie is verder opmerkelijk, dat er behalve aan de vormen en qualiteiten, die in den regel de enige verklarings-middelen zijn, ook een zekere functie aan de materia prima wordt toegekend. Hij is namelijk nog niet tevreden met de elementen en de eerste qualiteiten als laatste principes der stoffelijke wereld, maar neemt daarachter nog een viervoudige gedifferentieerdheid in de prima materia aan, waardoor zij speciaal op elk der vier elementen kan zijn aangelegd. Van deze vier *respectus*, die enigszins een geestelijk karakter dragen, is er op elk ogenblik één de overheersende en zij bepaalt dan tot welk element de prima materia geactualiseerd is. De spiritualiteit schept de mogelijkheid van wederzijdse doordringing: zoals twee karaktereigenschappen gelijktijdig in een persoon kunnen bestaan, zijn de vier respectus ononderscheiden in ieder punt aanwezig; daarom kunnen de elementen elkaar in het mixtum ook zo volkomen doordringen, dat er werkelijk een enkele homogene nieuwe stof ontstaat.

Deze theorie is niet alleen interessant om de poging die er in gedaan wordt het wezen van de chemische binding te doorgronden, maar ook omdat zij nog eens onthult, hoe moeilijk het voor de volgelingen van Aristoteles was, om de prima materia werkelijk als zuivere potentialiteit te blijven zien; telkens weer bestaat de neiging, er een oerstof van te maken, die al een zekere substantialiteit bezit. Zij is dan wel, om met Augustinus te spreken, *prope nihil* (bijna niets), maar zodra ze op zich zelf al iets is, heeft ze toch al enigszins vormkarakter. En dat karakter wordt geaccentueerd door iedere poging, haar een zekeren invloed in de chemische processen toe te kennen.

Onder de aanhangers van de Averroistische richting die met den Commentator over remissio van de elementvormen blijven spreken (wat Dietrich niet doet) bestaat er vooral verschil van mening over de vraag, of de forma mixti eenvoudig de combinatie van de gereduceerde elementvormen is of een zelfstandige toegevoegde vorm, waarvoor zij als het ware als materie fungeren. Het is de kwestie van de *mixtio sine* of *cum forma mixti superaddita*, die nog in de zestiende eeuw de Italiaanse Averroisten verdeeld zal houden (III: 67).

Bij den Italiaansen Scotist Franciscus de Marchia, die in deze de denkbeelden van Petrus Aureoli schijnt uit te werken, leidt de nauwkeurige overweging van de verschillende wijzen waarop de elementen in het mixtum zouden kunnen voortbestaan, tot de conclusie, dat men denken moet aan een eigenaardige vermenging van potentieel en actueel zijn, die niet tot reeds bekende zijnswijzen kan worden herleid en waarvoor dan ook een nieuwe term, *actus confusionis*, wordt ingevoerd. De door Averroës betreden weg loopt hier feitelijk uit op de erkenning, dat de chemische binding een met de traditionele denkmiddelen onvatbaar verschijnsel beduidt, dat men wel met een nieuwen naam kan benoemen,

maar niet met de beschikbare verklaringsbeginselen nader kan verduidelijken.

135 De Thomistische opvatting, volgens welke de elementen virtueel in het mixtum aanwezig zijn, wordt door Duns Scotus in dier voege nader gepreciseerd, dat met virtueel alleen een zekere overeenstemming of gelijkenis bedoeld wordt. Hij licht dit toe met het voorbeeld van de relatie die een qualitas media van een zekere soort heeft tot de qualitates extremae, b.v. bij kleuren rood, geel en groen tot zwart en wit. Volgens Aristoteles zijn deze middelqualiteiten uit de extreme samengesteld en bevatten ze deze. Dit moet echter niet in dien zin worden verstaan, dat de eerste werkelijk door een samenbrengen en vermengen van de laatste zouden ontstaan en deze er nu realiter als delen in aanwezig zouden zijn, maar veeleer zo, dat er een zekere *convenientia naturalis*, een overeenstemming of gelijkenis, tussen een middelqualiteit en de extreme bestaat, die deze onderling niet bezitten: rood bevat niet zwart en wit als bestanddelen, maar het heeft iets van zwart en iets van wit. Men zegt daarom, dat het zwart en wit secundum virtutem of virtueel bevat. Zo moet men nu ook het verband van een mixtum met de elementen zien: de verbinding lijkt in zeker opzicht op elk van hen. Walter Burleigh haalt ter vergelijking de wijze aan, waarop een muilezel in virtute het paard en den ezel bevat; hij lijkt op beide, maar bezit noch den paard- noch den ezelvorm.

De wijze waarop de elementen in de verbinding blijven - het is zoals men ziet, wel een zeer verzwakte vorm van aanwezig zijn - kan nog op een andere manier worden toegelicht. Duns hangt namelijk de mening aan, dat de substantiële vorm van een hoger compositum (een mixtum) de materie niet direct, maar door bemiddeling van lagere composita (de elementen) informeert en wel in dezen zin, dat de vormen der lagere samenstellingen aan dien van de hogere voorafgaan. Dat van den laarsten nu gezegd wordt, dat ze de eerste bevat, beduidt niet, dat ze gelijktijdig met deze aanwezig is, maar dat de elementvormen er eerder waren.

Ontdaan van de scholastieke terminologie komt het dus eigenlijk hierop neer, dat er elementen moeten geweest zijn, voordat het mixtum tot stand kon komen en dat dit nog wel enige gelijkenis met elk der elementen heeft. Bedenkt men hierbij, dat Duns met de meerderheid der Middeleeuwers het generans van het mixtum, dus datgene waardoor de forma mixti nu eigenlijk geïntroduceerd wordt, in een bovenaardsen invloed zoekt - sommigen denken aan een rechtstreeks goddelijk ingrijpen, anderen aan een werking van de intelligenties die de hemelspheren bewegen - dan is het duidelijk, dat er van een werkelijken opbouw van een mixtum uit de elementen in physischen zin nauwelijks meer sprake is en dat er voor de chemie hier al even weinig van de Aristotelische mixtioleer te verwachten was als in de Averroistische traditie.

136. De Scotistische interpretatie wordt door Willem van Ockham onveranderd aanvaard; de Parijse Terministen volgen hem daarin echter niet,

maar interpreteren de door Thomas in beginsel aangegeven mixtiotheorie meer in den zin van een reëel voortbestaan van de qualitas media en daardoor ook van de virtutes der elementen. Buridan ziet daarbij de vraag onder ogen, of het nog wel zin heeft te zeggen, dat het mixtum uit de elementen bestaat: is het niet even onmiddellijk samengesteld uit de prima materia en de forma mixti als de elementen uit de prima materia en de elementvormen? Het antwoord op deze vraag gaat dezelfde genetische richting uit als we Duns zagen inslaan: een forma mixti kan in tegenstelling tot een elementvorm eerst worden opgenomen, wanneer de materie daartoe eerst gepraedisponeerd is door de qualiteiten en virtutes van andere lichamen. Wanneer echter het mixtum eenmaal tot stand is gekomen, heeft het volgens Buridan ook inderdaad niet veel zin meer te zeggen, dat het nu nog de elementen bevat; daar zij bovendien zelf composita zijn, kan men ze feitelijk helemaal niet als de uiterste bouwstenen der stoffelijke wereld beschouwen; als zodanig kan alleen de materia prima gelden, die hier wel heel duidelijk als een oersubstantie gezien wordt. Op de nuanceverschillen die er tussen Buridan's opvatting en die van Oresme, Albert van Saksen en Marsilius van Inghen bestaan, zullen we niet ingaan. Opmerking verdient alleen, dat Oresme als generans van een substantiëlen vorm uitdrukkelijk God zelf noemt: alle andere oorzaken die men er wel voor aanvoert, de elementen en hun krachten of de hemelse intelligenties, kunnen slechts als werktuigen worden beschouwd, Zo eindigt zelfs bij dezen het meest met de latere natuurwetenschap verwanten middeleeuwsen denker het onderzoek naar het wezen van de chemische verbinding met een bekentenis van wetenschappelijke onmacht: een beroep op God.

β. De theorie der minima naturalia[27]

137. Zoals we in I: 29 zagen, hebben de Griekse commentatoren van Aristoteles een door hem in beperkter verband uitgesproken denkbeeld uitgebreid tot de theorie, dat iedere stofsoort haar eigen karakteristieke quantitatieve minima bezit: wanneer men een lichaam dat uit die stof bestaat, in gedachten in steeds kleinere delen gaat verdelen, houdt de mogelijkheid om dit te doen bij de minima op: zou de hierdoor gestelde verdelingsgrens naar beneden toe overschreden worden, dan zou de stof als zodanig ophouden te bestaan.

Hier is dus alleen nog maar sprake van een in gedachten uitgevoerde verdeling; er wordt nog niets van gezegd, of de onderstelde minima ook wel eens werkelijk voorkomen. Bij Averroës, door wiens bemiddeling de Scholastiek de theorie heeft kunnen leren kennen, geschiedt dat echter wel. Volgens hem is het eerste wat bij het ontstaan van een stof in het aanzijn komt en het laatste wat bij haar vergaan te loor gaat, het gerealiseerde minimum. Hij schijnt de chemische processen zich dus tussen de minima zelf te laten afspelen en wanneer latere commentatoren uit-

drukkelijk zeggen, dat een chemische verbinding tot stand komt, doordat de reagerende stoffen tot in hun minima naturalia verdeeld worden, de afzonderlijke minima van de ene stof naast die van de andere komen te liggen en ze nu wederzijds op elkaar gaan inwerken, dan lijkt dit slechts een nadere precisering van wat de Commentator in beginsel reeds had aangeduid.

Het verdient opmerking, dat deze Aristotelisch-Averroistische theorie der minima naturalia principieel verschilt van de voorstellingen over de structuur van de materie en het wezen van de chemische binding die kenmerkend zijn voor de Demokritisch-Epicuraeïsche atomistiek. Wij wijzen op vier essentiële verschilpunten: 1) de minima naturalia van verschillende stoffen zijn onderling qualitatief verschillend; ze hebben eenvoudig de eigenschappen die aan makrolichamen van die stof zijn waar te nemen; Demokritische atomen onderscheiden zich van elkaar uitsluitend door quantitatieve kenmerken; 2) voor iedere stofsoort hebben de minima een karakteristieke grootte; bij Demokritos komen de atomen in alle mogelijke omvangen beneden de zichtbaarheidsgrens voor; 3) er wordt niets ondersteld aangaande de meetkundige gedaante der minima, terwijl deze juist voor de atomen een belangrijke functie vervult; 4) volgens beide theorieën spelen zich de chemische processen weliswaar af in de kleine deeltjes waarin de reagerende stoffen uiteengaan, maar voor de atomistiek bestaat de reactie alleen in een wijziging van de configuratie der deeltjes; ze komen anders ten opzichte van elkaar te liggen dan voorheen en die veranderde situatie constitueert de nieuw ontstane stof; volgens de Aristotelische opvattingen werken de verschillende minima, die naast elkaar zijn komen te liggen, op elkaar in, waardoor ze inwendige veranderingen ondergaan en gezamenlijk de qualitas media voortbrengen, die de stof disponeert tot het ontvangen van de forma mixti.

Het ligt natuurlijk voor de hand te verwachten, dat de theorie der minima in de dertiende en veertiende eeuw niet uitsluitend voorkomt in den vorm waarin Averroës haar had uitgesproken. Bij Thomas is ze nog niet veranderd, maar Roger Bacon wijzigt haar in dezen zin, dat homogene gevormde materie weliswaar onbegrensd deelbaar is, maar dat beneden een zekere grens het vermogen der deeltjes om een werking uit te oefenen, ophoudt. Dezelfde opvatting komt voor bij Albertus Magnus, die zelfs de atoomtheorie van Demokritos op deze wijze opgevat wil zien. Siger van Brabant, deze leer der minima secundum operationem verwerpend, meent, dat Aristoteles slechts heeft willen zeggen, dat deeltjes van een bepaalde stof niet beneden een zekere grens kunnen voorkomen, wanneer ze, afgescheiden van het homogene geheel waartoe zij behoorden, door een ander homogeen milieu omringd worden; zij veranderen zich dan in de omringende substantie, zoals volgens het steeds weer geciteerde voorbeeld van Aristoteles zelf een druppel wijn, die in een groot vat water valt, zelf water wordt. In dezen vorm heeft de theorie dus slechts betrek-

king op de z.g. minima separata, niet op deeltjes die niet van het geheel gescheiden zijn; de oneindige deelbaarheid kan dus voor een materieel continuum gehandhaafd blijven.

In Scotistische kringen ontmoet men de opvatting, dat er wel minima bestaan voor heterogene, d.w.z. georganiseerde objecten, maar niet voor homogene stoffen. Een lichaamsdeel, b.v. een oog of een arm, vereist om te kunnen bestaan en functioneren een zekere minimum-grootte, zoals het ook aan den anderen kant een zeker maximum niet te boven kan gaan. Anderen, waaronder Albert van Saksen en Marsilius van Inghen, menen, dat de aard van een stof den omvang van haar minima niet ondubbelzinnig bepaalt, maar dat deze mede afhankelijk is van de uitwendige omstandigheden, waarin de kleine deeltjes komen te verkeren. En verder is er verschil van mening over, of er alleen minima quantitatis bestaan of ook minima qualitatis, of dus b.v. verwarming van een lichaam of verandering van zijn kleur al dan niet discontinu verlopen.

In latere paragrafen (III: 66, 73; IV: 252) zullen wij op de lotgevallen van de theorie der minima en haar relatie tot de atomistiek terugkomen.

γ. De denkbeelden der chemici

138. Wij hebben in het bovenstaande uitsluitend aandacht gewijd aan wat de middeleeuwse wijsgeren op grond van hun metaphysische beginselen over de structuur der materiële substantie hebben gedacht. Er is echter alle aanleiding, ook eens te luisteren naar de stemmen van hen die niet alleen over het wezen van een chemische verbinding nadachten, maar ook practisch met stoffen omgingen, verbindingen werkelijk tot stand brachten of ze in hun bestanddelen ontleedden. Men zal kunnen verwachten, dat wat zij te zeggen hebben, niet altijd zo diep theoretisch gefundeerd en logisch cohaerent zal zijn als wat de wijsgeren er over te berde brengen; tegenover dit nadeel zal echter het voordeel staan, dat hun kennis uit ervaring geput is, ook al zal dat vaak een onvolledige of onjuist begrepen ervaring zijn geweest. Wij zullen ons dus tot de alchemisten moeten wenden, niet omdat zij de enigen waren die de gelegenheid hadden met stoffen om te gaan, maar omdat de geheel op de practijk ingestelde technici, die dat in hun beroep ook deden, hun ondervindingen in den regel niet te boek stelden.

Dat de alchemisten er op uit waren, goud te maken, is in het verband waarin hun denkbeelden ons thans bezighouden, niet van belang. Het enige immers wat alchemie van chemie kan onderscheiden, is de doelstelling en waar deze irrelevant is, vervalt het motief voor het naamverschil.

Het blijkt nu wel, dat de Aristotelische opvatting van de chemische binding als het één worden van de veranderde zich verbindende bestanddelen door de mannen van de chemische practijk slechts weinig is gedeeld en dat de ganse problematiek van de wijze waarop de elementen in de

verbindingen voortbestaan, hun dan ook niet veel hoofdbrekens heeft gekost. Zij aanvaarden op grond van werkelijke of vermeende ervaring als axioma, dat een verbinding die uit bepaalde grondstoffen *ont*staat, ook uit die grondstoffen *be*staat en dat ze er ook weer in ontleed kan worden. Dat stempelt hen echter reeds tot aanhangers van een der corpusculaire theorieën over de structuur der materie, die vóór Aristoteles in de Griekse physica gehuldigd werden. Wij hebben in I: 7-13 over die theorieën gesproken, voordat wij nog de Aristotelische opvatting behandeld hadden. Nu we deze intussen ook hebben leren kennen, zullen we duidelijkheidshalve de verschillende mogelijkheden over de natuur van de chemische binding nog eens ter vergelijking naast elkaar plaatsen. We denken ons daarbij de Aristotelische opvatting reeds gepreciseerd tot de scholastieke leer der minima naturalia.

139. Het gaat dan voor alle partijen om den opbouw van samengestelde stoffen uit onzichtbaar kleine bestanddelen. Aangaande den aard dier bestanddelen kan worden ondersteld:

A. Ze zijn onderling qualitatief gelijk.
B. Ze komen voor in een beperkt aantal qualitatief verschillende soorten.

Aangaande de wijze waarop de kleine bestanddelen in de verbinding voorkomen, kan worden ondersteld:

I. Ze bestaan er onveranderd reëel in voort, zijn dus ergens in de samengestelde stof werkelijk aanwezig.
II. Ze bestaan er slechts, in een der boven onderscheiden betekenissen van het woord, virtueel in voort; men kan ze dus in de verbinding niet ergens aantreffen.

Door combinatie krijgt men nu drie mogelijke opvattingen:

De elementaire deeltjes	A	B
zijn	qualitatief gelijk	qualitatief verschillend
I reëel voortbestaand	Demokritisch	Empedokleïsch
II virtueel voortbestaand	-	Aristotelisch

De combinatie A II schijnt nooit te zijn voorgekomen.

Dit overzicht maakt nog eens goed duidelijk, dat de Empedokleïsche opvatting (B I) een tussenpositie inneemt tussen de Demokritische (A I) en de Aristotelische (B II). Wanneer men dan ook, zoals het spraakgebruik met zich meebrengt, de beide theorieën I samenvat onder den naam corpusculairtheorie, loopt men het gevaar, dat men op de overeenstemming van B I met A I te veel nadruk legt tot schade van de uitdrukking van de verwantschap tussen B I en B II. Om dat bezwaar te ondervangen, noemt men de Demokritische opvatting wel een mechanistische, de Empedokleïsche een qualitatieve corpusculairtheorie. Dat maakt de zaak

echter niet beter; immers men bepaalt het mechanicisme dan niet langer door het kenmerk, dat het alle verschijnselen in de makrowereld teweeg gebracht denkt door plaatsverandering van qualitatief onveranderlijke corpuscula, maar legt den strengeren eis op, dat die corpuscula onderling qualitatief niet mogen verschillen; dat is echter niet de meest gangbare opvatting van den term mechanistisch en schept dus op zijn minst verwarring. Wij zullen dus in het vervolg liever van een Demokritische en een Empedokleïsche corpusculairtheorie spreken.

140. Men kan nu grosso modo zeggen, dat de opvattingen van de middeleeuwse chemici over de structuur van een samengestelde stof van het Empedokleïsche type B I zijn geweest, maar dat ze zich van de theorie die Empedokles waarschijnlijk gehuldigd heeft, onderscheiden wat den aard der aangenomen bestanddelen betreft. In laatste instantie zijn dat bij hen ook wel de vier elementen die in de beide B-theorieën worden aangenomen maar volgens de reeds uit de Oudheid daterende en in de Middeleeuwen wijd verbreide theorie over de samenstelling van metalen (I: 104) bestaan deze uit kleine z.g. secondaire deeltjes zwavel en kwik, die door het feit, dat zij zelf uit de vier elementen zijn samengesteld, niet verhinderd worden als zelfstandige bestanddelen in de verbindingen qualitatief onveranderd reëel voort te bestaan, dus zich juist zo te gedragen alsof zij elementaire deeltjes waren. En op den duur blijkt zelfs een analoge onderstelling te zijn gemaakt ten aanzien van de kleine metaaldeeltjes bij het tot stand komen van metaalverbindingen; zij zouden hierbij als onveranderlijke tertiaire deeltjes optreden en dus als zodanig in de verbinding aanwezig zijn. De verwantschap die de zwavelkwiktheorie der metalen wegens haar B-type met de Aristotelische opvatting van een samengestelde stof heeft, schuilt in de gedachte, dat de zwavel- en kwikdeeltjes elk dragers zijn van bepaalde qualiteiten; de zwavel brengt de brandbaarheid aan, het kwik de metallische eigenschappen, den glans en de smeltbaarheid.

Het is natuurlijk niet te verwachten, dat de chemici, die hun theorieën in het laboratorium moesten opstellen om, zo goed en zo kwaad als het ging, rekenschap te geven van wat ze daar zagen gebeuren, zich altijd strikt aan de boven gemaakte begripsonderscheidingen hebben gehouden. Wanneer ze zich, om bepaalde verschijnselen te verklaren, gaan beroepen op de bijzondere kleinheid of de regelmatige ligging der corpuscula, slaan ze blijkbaar op de qualiteiten dier corpuscula geen acht meer en gaan dus zuiver Demokritisch te werk; wanneer ze echter volhouden, dat bepaalde loodverbindingen nog altijd lood zijn, maar met gewijzigde accidentele eigenschappen, zijn ze blijkbaar beïnvloed door de Aristotelische opvatting in de door de philosophen weliswaar eenstemmig verworpen, maar door chemici en medici gaarne aanvaarde interpretatie van Avicenna (II: 133); ze laten immers den substantiëlen vorm van het lood in de verbindingen voortbestaan.

D De astronomie in de middeleeuwen[28]

a. *De strijd tussen Aristoteles en Ptolemaias*

141. Onder de verschillende takken der middeleeuwse natuurwetenschap neemt de astronomie een bevoorrechte positie in: ze geniet algemene aandacht en belangstelling en het peil der gangbare ontwikkeling is voor haar aanmerkelijk hoger dan voor enig ander onderdeel der wis- en natuurkunde. Daarvoor zijn verschillende oorzaken aan te wijzen: vooreerst de grote bloei dien het vak in de Oudheid reeds had doorgemaakt, vervolgens de belangrijke plaats die de kosmologie van oudsher in het natuurphilosophisch, wijsgerig en theologisch denken had ingenomen, de grote betekenis die het voor de tijdrekenkunde bezat en bovenal de onvervangbare diensten die het aan de astrologie bewees. Van het begin van de organisatie van het voorbereidend wetenschappelijk onderwijs af had het deel uitgemaakt van het quadrivium en hoewel het hierin nooit is uitgekomen boven het niveau van een elementaire sphaerische astronomie, blijft het, in verband met den nog zeer weinig ontwikkelden toestand van de wiskunde als leervak, altijd verwonderlijk, dat men er nog zover in kwam.

Zoals van alle wetenschappen dankt het Westen ook zijn kennis der astronomie aan de conserverende functie die de Arabische geleerden ten aanzien van het Griekse cultuurerfgoed hebben uitgeoefend en aan de onschatbare activiteit van de twaalfde- en dertiende-eeuwse vertalers. De bemiddeling der Arabieren had in dit geval nog in het bijzonder waarde, omdat de astronomie van het ogenblik af, dat de Islam zich voor de Griekse wetenschap had opengesteld, een uitzonderlijke verzorging had genoten en daardoor in niet onbelangrijke mate was aangevuld en verbeterd. De Arabieren hebben veel en zorgvuldig geobserveerd en hoewel het daarbij verzamelde ervaringsmateriaal geen aanleiding heeft gegeven tot principiële wijzigingen in het wereldbeeld, heeft het wel geleid tot een verbetering in de aansluiting van theorie en waarneming.

Het kon daarbij niet uitblijven, dat zich over doel en draagwijdte der astronomische theorieën dezelfde meningsverschillen voordeden als die de Griekse astronomen verdeeld hadden gehouden: ook de Islam telt zijn zuiver technische astronomen, die het als hun uitsluitende taak zagen, de Ptolemaeische leer van excenters en epicykels te gebruiken voor het samenstellen van tafels, waaruit voor ieder willekeurig ogenblik de posities van zon, maan en planeten konden worden afgelezen en die zich daarom onthielden van iedere speculatie over den graad van physische realiteit die aan het ontworpen kinematisch beeld der hemelbewegingen toekwam. Volgden zij dus den Ptolemaios van den *Almagest* na, zo bewandelden anderen, die zich met deze positivistische beperking van het doel van hun wetenschap niet tevreden konden stellen, de wegen die hij in zijn *Hypotheses Planetarum* had gewezen. Zo danken we aan denzelfden

Ibn al-Haytam dien we als Alhazen reeds in de optica ontmoetten (II: 16, 68), een gedetailleerd mechanisch model der planetenbeweging, dat in de latere eeuwen zowel in den Islam als in het Westen de belangstelling zou genieten van allen die voor hun astronomisch denken, aan dergelijke verstoffelijkingen behoefte hadden. En weer wekten zowel het mathematisme der zuivere astronomen als de constructie van de door hun stelsel geinspireerde modellen oppositie bij de getrouwe aanhangers der peripatetische physica, die geen andere natuurlijke wentelingen konden erkennen dan die om een onbeweeglijk, het wereldcentrum insluitend centraal lichaam plaats hadden.

142. De hiermee herleefde strijd tussen de Ptolemaeische astronomie en de Aristotelische natuurwetenschap (I: 81), waarvan de eerste zich kon beroepen op practische resultaten van onweersprekelijke waarde, terwijl de tweede steunde op de overtuiging van de onaantastbaarheid van haar grondbeginselen, is voornamelijk gevoerd in het wetenschappelijk milieu dat in de twaalfde en dertiende eeuw in Spanje bestond. Ingeleid door Ibn Bâgga (Avempace) en Ibn Tufail (Abubacer) vond de peripatetische oppositie haar voornaamsten woordvoerder in Averroës, met wiens werken ze weldra in het Latijnse Westen zou worden overgenomen. In denzelfden tijd treedt zij ook op bij den in Egypte levenden Joodsen wijsgeer Maimonides. Zij werd ten slotte in een daad omgezet door al-Bitrûğî (Alpetragius), die een nieuw met Aristotelische beginselen harmoniërend planetenstelsel opbouwde in de hoop, daardoor het Ptolemaeïsche te verdringen. Die hoop zou een illusie blijken, maar intussen was de nieuwe theorie algemeen bekend geworden en tot aan de invoering van het Copernicaanse wereldbeeld is ze als poging tot verklaring van de wereldstructuur in de belangstelling der astronomen blijven voortleven.

143. Het gewoonlijk minder gelukkig als spiraaltheorie betitelde, maar beter met den oorspronkelijken naam *laulabia* d.w.z. schroeftheorie aan te duiden stelsel van Alpetragius[29] - geen geheel oorspronkelijke vondst, maar kennelijk door Griekse voorbeelden geïnspireerd - is helaas niet voldoende uitgewerkt om geheel en al begrijpelijk te zijn en niet ver genoeg quantitatief bepaald om vatbaar te zijn voor toetsing aan de waarneming. Zijn aanhangers hebben zich dan ook nooit kunnen kwijten van de eerste en voornaamste taak die een middeleeuwse astronomische theorie te vervullen had, de samenstelling van planetentafels. Reeds daarom is het nooit tot een ernstige mededinger van de leer van Ptolemaios geworden. Wij schetsen hieronder den inhoud in enkele grote lijnen.

Getrouw aan de beginselen van het Aristotelisme gebruikt Alpetragius in zijn stelsel geen andere dan concentrische spheren die om assen door het wereldcentrum wentelen. Het aantal dat hij nodig heeft, is echter veel geringer dan in de antieke theorie van Eudoxos, Kallippos en Aristoteles was gebruikt (I: 42). Hij volstaat met negen spheren, zeven voor zon, maan en planeten, een voor de vaste sterren en een, deze acht omsluitende, lege

negende. Echter worden aan de achtste spheer wentelingen om twee assen, aan de eerste zeven zelfs wentelingen om drie assen tegelijk toegekend.

De negende spheer wentelt in iets meer dan een sterredag eenparig om de hemelas. Voor elk der acht binnen haar gelegen spheren is deze beweging zowel voorbeeld als krachtbron. Zij streven er alle acht naar, haar wenteling na te volgen en ontlenen aan haar ook het vermogen daartoe; dit vermogen komt echter slechts verzwakt tot hen en wel des te meer verschillend van het oorspronkelijke, naarmate de afstand groter is. De achtste spheer blijft slechts zeer weinig achter en loopt daardoor juist in een sterredag rond; bij de maan is de dagelijkse vertraging het grootst, zodat zij bijna vijfentwintig sterreuren nodig heeft voor een volledige omwenteling; voor de zon en de planeten ligt het bedrag van den achterstand tussen de twee hierdoor gestelde grenzen in.

Tot dusver is er uitsluitend sprake geweest van westwaartse bewegingen, die alle het gevolg zijn van de werking van een enkelen motor; wanneer men - wat vaak, o.a. door Albertus Magnus, gedaan is - de uiteenzetting tot het bovenstaande beperkt, bezit het stelsel een karakter van eenvoud, dat steeds velen bekoord heeft; het is echter duidelijk, dat men de situatie dan onmatig vereenvoudigt: er wordt juist gedaan alsof zon, maan en planeten zich ten opzichte van de vaste sterren langs of evenwijdig aan den aequator verplaatsen en alsof er geen retrograde bewegingen zijn. In werkelijkheid moet het stelsel dus aanzienlijk ingewikkelder zijn geweest. We zullen hierop echter niet ingaan.

144. De Arabische astronomie is voornamelijk in de twaalfde eeuw door vertalingen in het Latijn in West-Europa bekend geworden. Voor dien tijd was er wel iets van doorgedrongen, o.a. door een reeks van werken over het universele waarnemingsinstrument van die dagen, het astrolabium, die reeds aan het eind van de tiende eeuw door een geschrift van Gerbert geopend was, maar eerst toen door de in Spanje werkzame vertalers de astronomische verhandelingen en tafelwerken van al-Farġânî (Alfraganus), al-Battânî (Albategnius), al-Ḫuwârizmî (Algoritmi) en Gâbir b. Aflah (Geber) hier toegankelijk werden gemaakt, kreeg men een indruk van den omvang en de diepte van wat door Hellenen en Arabieren op dit gebied tot stand was gebracht. De school van Chartres kende naast de genoemde werken ook reeds de planetentafels van Ptolemaios en zijn werk over het astrolabium, het *Planisphaerium*.

De *Almagest* zelf, de grondslag waarop dit alles berustte, werd eerst in 1175 in het Latijn overgezet. De vertaler, Gerard van Cremona, voegde er een beknopte en vereenvoudigde bewerking, de *Theorica Planetarum*, aan toe. Wanneer men zich een ogenblik enerzijds den gecompliceerden en moeilijken inhoud van den *Almagest* en anderzijds het peil van de twaalfde-eeuwse wiskunde voor ogen stelt, is het niet verwonderlijk, dat aan zulk een compendium behoefte zal hebben bestaan.

Voorlopig schijnt men zich in het Westen meer voor de practische

resultaten van de Ptolemaeïsche astronomie te hebben geïnteresseerd dan voor haar theoretische grondslagen en voor de vraag naar den graad van physische realiteit van haar wereldbeeld. Er is aanvankelijk voornamelijk sprake van tafels voor de planetenbeweging, die op allerlei plaatsen aan de daar bestaande geographische lengte en aan de Christelijke chronologie werden aangepast en van de *canones* (rekenregels) waarmee men uit die tafels een planeet-positie kon berekenen; de theorie, die tot de samenstelling ervan geleid had, wordt daarbij ten hoogste in een inleiding behandeld. Twijfel aan de geldigheid van het Ptolemaeïsche stelsel komt nog niet voor; de wijzigingen die de Arabieren er in hadden aangebracht, zoals de trepidatie van de aequinox (II: 16), hadden de grondslagen onaangetast gelaten.

145. Dat wordt echter anders, wanneer, nadat in de eerste jaren van de dertiende eeuw reeds het Aristotelische *De Caelo* met den commentaar van Averroës bekend was geworden, in 1217 door toedoen van Michael Scotus ook het astronomische werk van Alpetragius in het Latijn hier zijn intrede doet. De strijd tussen Ptolemaios en Aristoteles, in Griekenland begonnen en in Spanje voortgezet, begint nu ook in de Latijnse Scholastiek den eersten twijfel aan de onaantastbaarheid van het stelsel van den *Almagest* te wekken.

De eerste auteur bij wien de invloed van Alpetragius zich doet gevoelen, is Willem van Auvergne, die er in zijn encyclopaedisch werk *De Universo* adhaesie aan betuigt, zonder nochtans blijk te geven, dat hij er mee vertrouwd is. Hij legt echter nog geen verband tussen de nieuwe theorie en de Aristotelische physica; het is nog in de jaren, waarin men in twijfel verkeert of Aristoteles wel voor de Christelijke wetenschap aanvaardbaar is en waarin Plato nog steeds als de enige heidense denker geldt wiens leer zonder gevaar kan worden overgenomen. Bij Willem van Auvergne blijkt dan ook het bewegend vermogen, dat, van de negende spheer van Alpetragius uitstralend, het gehele wereldstelsel in beweging houdt, Platonische reminiscenties op te wekken: hij identificeert het met de Wereldziel uit *Timaios* en levert daardoor een nieuw voorbeeld van de gretigheid waarmee deze conceptie in de Scholastiek is aanvaard en overgenomen.

Van nu af wordt de nieuwe theorie in kosmologische discussies geregeld vermeld, zij het dan ook in den extreem vereenvoudigden vorm, waarin Albertus Magnus haar behandeld had en waarin eigenlijk van de grondgedachten waarop het gebaseerd is, niet veel meer was overgebleven dan het denkbeeld, de eigen bewegingen van zon, maan en planeten te interpreteren als effecten van een verlangzaamde dagelijkse wenteling. In specifiek astronomische werken wordt er veel minder notitie van genomen; zij had immers geen aanleiding gegeven tot samenstelling van nieuwe planetentafels en was dus in gebreke gebleven in het enige, wat de technische astronoom en de astroloog, die zijn diensten inriep, van een theorie over den wereldbouw verlangden.

b. *Mathematische en physische astronomie*

146. Intussen was onder den invloed van het werk van Alpetragius en van de kritische beschouwingen van Averroës, die het in het leven hadden geroepen, ook de belangstelling voor de antieke strijdvraag over de kenwaarde van een astronomisch wereldstelsel ontwaakt. Dit blijkt onder meer uit de voor de wetenschapsgeschiedenis belangrijk geworden overwegingen die Thomas van Aquino aan het eind van zijn leven in zijn Commentaar op *De Caelo* van Aristoteles aan het verschil tussen de mathematische en de physische opvatting wijdt[30].

Stelt men deze in hun ideale vormen tegenover elkaar, dan moet een physische theorie in staat zijn, uit onbetwijfelbare natuurwetenschappelijke beginselen deductief de structuur van den hemel af te leiden, een mathematische echter, kine matische hypothesen te verzinnen waarvan de resultaten overeenstem men met de waarneming. De eerste leert de wereldstructuur verstaan, de tweede beschrijft haar. Nu zijn er wel vaststaande grondslagen voor het astronomische denken (b.v. de eenparigheid en cirkelvormigheid van alle hemelse bewegingen), maar deze zijn te algemeen van aard om er het concrete physische probleem dat de astronomie stelt, mee op te lossen; dit zal dus nooit mogelijk zijn zonder hypothetische aanvullingen der grondbeginselen en het is nog nooit gelukt, die aanvullingen zo te kiezen, dat ze de instemming van alle astronomen hebben kunnen verwerven, en evenmin, er een wereldbeeld uit af te leiden dat met de waarneming in overeenstemming is. De mathematische methode echter heeft wel tot bevredigende resultaten geleid, maar ten koste van een grote complicatie der gebruikte kinematische hypothesen, waardoor deze onaanschouwelijk en zelfs physisch onaannemelijk zijn geworden. Zo schieten beide methoden te kort en het hangt slechts van het standpunt waarop men zich stelt af, van welke men de tekortkoming het zwaarst zal laten wegen: de astronomen en mathematici zullen vóór alles hechten aan empirische controleerbaarheid en dus de mathematische beschrijving prefereren, de physici (*naturales*) willen het wezen der dingen verstaan en zijn dus eerder geneigd, naar het waarheidsgehalte van een voorgesteld wereldbeeld te vragen. Men behoort zich nu echter te hoeden voor de misvatting, als zoude een succes dat de mathematische methode in het redden van de verschijnselen met behulp van een kinematische hypothese behaalt, een waarborg zijn, dat aan die hypothese het waarheidskarakter toekomt waarop de wijsgerig geschoolde physicus voor zijn grondslagen aanspraak maakt. Dat een theorie de waarnemingen weer kan geven en dat haar voorspellingen uitkomen, is geen afdoend bewijs voor haar waarheid; het blijft altijd denkbaar, dat men, door andere onderstellingen te maken, hetzelfde resultaat zou kunnen bereiken.

Terwijl het in deze beschouwingen vervatte oordeel over de mathematische methode voor een hedendaags beoefenaar der natuurwetenschap

nog ten volle aanvaardbaar is, zal het hem moeite kosten, zich met dat over de physische te verzoenen. Want zelfs indien hij al bereid is, het bestaan van onaantastbare fundamentele inzichten in de natuur te erkennen (het is alleszins denkbaar, dat hij dat helemaal niet zal zijn), zal hij niet kunnen nalaten, zich te verbazen over het onwankelbare vertrouwen, waarmee Thomas de Aristotelische theorie van de quinta essentia en het daaruit voortvloeiende postulaat van de eenparigheid en cirkelvormigheid van de hemelbewegingen als zodanig aanvaardt.

Het zal overigens duidelijk zijn, dat de betekenis van het door Thomas besproken verschil van opvatting over wezen, doel en waarde van een natuurwetenschappelijke theorie geenszins beperkt blijft tot het speciale vak waarvoor hij het aan de orde stelt en tot het tijdvak waarin het voor dit vak juist de aandacht trok; het is een kwestie voor alle tijden en voor alle takken der natuurwetenschap die voor mathematische behandeling vatbaar worden; in de theorieën over den atoombouw van onze dagen is het even levend als het in Oudheid en Middeleeuwen in die over den wereldbouw was.

147. De ontoereikendheid van iedere op de Aristotelische beginselen gebaseerde physische theorie van de hemelbewegingen (zulk een theorie moest altijd met concentrische spheren werken en kon dus nooit rekenschap geven van de veranderingen in de afstanden van de hemellichamen tot de aarde) bracht uiteraard empirisch ingestelde scholastici in een moeilijk dilemma: de autoriteit van Aristoteles was groot, maar dezelfde Aristoteles had hen geleerd, niets voor waar te houden, dat met de door de zintuigen verworven ervaring in strijd was.

Men krijgt een indruk van de hierdoor geschapen denkverlegenheid, wanneer men kennis neemt van de astronomische beschouwingen van Dietrich van Freiberg[31]. Hij erkent, dat iedere theorie, die slechts concentrische spheren aanneemt, *per efficaciam*, d.w.z. in haar consequentie, onhoudbaar blijkt, maar waagt het niet, hieraan, een argument te ontlenen tegen de physische grondslagen waarop zulk een theorie steunt. Liever probeert hij, in het licht van de resultaten der astronomie Aristoteles zo te interpreteren, dat de door Averroës tegen het stelsel van Ptolemaios ingebrachte bezwaren ondervangen worden; dit gelukt echter niet dan ten koste van een schending van essentiële grondslagen der Aristotelische leer.

Hetzelfde dilemma belet Roger Bacon om de discussies die hij in zijn verschillende geschriften aan de brandende kwestie wijdt, met een duidelijke keuze voor een der twee standpunten te besluiten. Het stelsel van Ptolemaios is in overeenstemming met de waarneming, maar in strijd met de beginselen der Aristotelische natuurwetenschap, dat van Alpetragius is op deze beginselen gebouwd, maar leidt tot consequenties die niet in overeenstemming zijn met wat de ervaring leert. Wanneer Bacon werkelijk de onverschrokken kampioen voor de empirische methode van natuuronderzoek geweest was, waarvoor men hem op grond van zijn verheer-

lijking van de scientia experimentalis nog veelal houdt, zou hier een gelegenheid hebben bestaan, daarvan ondubbelzinnig blijk te geven: niet zozeer door aanvaarding van het Ptolemaeïsche stelsel als een uitgemaakte waarheid als wel door verwerping van dat van Alpetragius als een onhoudbaar gebleken onderstelling. Maar op het beslissende ogenblik durft hij dien stap niet aan:

> Het lijkt beter, het standpunt der naturales te aanvaarden, ook al blijven wij daardoor in gebreke, zekere sophismata op te lossen, waartoe meer de zinnen voeren dan de rede. Zij (de naturales) zeggen, dat het beter is, de orde der natuur te handhaven en in tegenspraak te staan tot de zinnen, die vaak misleiden, vooral op grote afstanden; beter in gebreke te blijven bij de oplossing van een of ander moeilijk sophisma, dan een wetenschap samen te stellen die in strijd is met de natuur.[32]

Bacon stelt, blijkens het gebruik van het woord sophisma, ervaringsresultaten die zich niet laten inpassen in het kader der Aristotelische physica, op één lijn met de vele bekende paradoxen waartoe een eristisch en sophistisch gebruik der logica voeren kan; evenmin als we ons door den Eleaat Zeno zullen laten afbrengen van onze intuïtieve overtuiging, dat Achilles de schildpad tòch inhaalt en dat de afgeschoten pijl wèl voortvliegt, zullen we ons door waarnemingen die schijnen aan te tonen, dat de afstanden van de hemellichamen tot de aarde veranderlijk zijn, laten schokken in de aan Aristoteles ontleende overtuiging, dat ze hetzelfde blijven.

Opnieuw zien we hier een treffend bewijs van de ontzaglijke macht die het denken van den Stagiriet over de Middeleeuwers gehad heeft. Een gemeenplaats, zal men zeggen. Zeker, maar een waarvan men de draagwijdte pas beseft, wanneer men haar niet alleen napraat, maar haar telkens weer aan concrete voorbeelden beleeft en die eerst dan ook het juiste inzicht schenkt in de psychologische belemmeringen die het ontstaan van de nieuwere natuurwetenschap moesten tegenhouden. Daarom is de uitlating van Bacon historisch zo belangrijk: hier is iemand aan het woord wien de zucht tot intellectuele rebellie in het bloed zit en die er een eer in stelt, autoriteiten te trotseren; maar nu het er op aan komt, geeft hij een volkomen gerechtvaardigde kritiek op omdat hij, zonder het te weten, geheel doortrokken is van een invloed op zijn denken die voor die kritiek geen ruimte laat; er is hier geen sprake van een formele menselijke autoriteit, terwille waarvan hij zich verplicht zou voelen, zijn beter inzicht te onderdrukken, maar het is het gezag der waarheid zelf, waaraan zijn inzicht zich vrijwillig ondergeschikt maakt.

Het is waarlijk een tragische verblinding, des te tragischer omdat de grote wijsgeer wiens licht haar teweegbrengt, de eerste geweest zou zijn, haar als een volkomen onjuiste geesteshouding voor wetenschappelijk werk te brandmerken.

148. Heel anders dan Bacon gedraagt zich in het conflict tussen de Aristotelische physica en de Ptolemaeïsche astronomie zijn ordegenoot Bernard van Verdun[33]. Deze somt in zijn *Tractatus super totam Astrolagiam* nog eens alle door waarneming vastgestelde feiten op waaruit blijkt, dat de hemellichamen niet steeds evenver van ons verwijderd zijn en concludeert daaruit zonder aarzeling tot de noodzaak, de hypothese der concentrische spheren te verwerpen; naar zijn mening vloeit daaruit voort, dat die van Ptolemaios dus aanvaard moet worden. Zo gerechtvaardigd als de eerste conclusie is, zo ongemotiveerd is de tweede. Wanneer Bernard zich de wijze woorden van Thomas ter harte had genomen, zou hij gezegd hebben, dat het stelsel van Ptolemaios bij den heersenden stand der wetenschap het enige was, dat de verschijnselen kon redden, maar dat men natuurlijk de mogelijkheid onder ogen moest zien, dat een andere nog niet opgestelde theorie het evengoed of beter zou kunnen doen. Maar deze gereserveerde houding wijst hij juist met beslistheid af: wanneer het uitgangspunt van de theorie van Ptolemaios onjuist was, zou zij de verschijnselen niet kunnen redden, want een kleine fout aan het begin sleept grote dwalingen aan het eind met zich mee.

Bernard van Verdun is op dit zo beslist uitgesproken standpunt niet alleen blijven staan. De Parijse Universiteit, het belangrijkste wetenschappelijke centrum van de Westerse cultuur, blijkt het zo algemeen te hebben gedeeld, dat het systeem van Ptolemaios er voortaan als het enige ware werd geleerd, terwijl dat van Alpetragius afdaalde tot de zijnswijze waarin de nauwgezetheid der Scholastici alle verworpen denkbeelden heeft laten voortleven, die van de als onjuist te bestrijden, maar daartoe eerst te vermelden *opiniones contrariae*.

Dat men het stelsel van Ptolemaios algemeen aanvaardde, sluit niet in, dat men blind zou zijn geweest voor de gebreken die het vertoonde. Verscheidene waarnemers stelden afwijkingen tussen hun meetresultaten en de in de tafels opgegeven posities vast en Hendrik van Langenstein (Henricus de Hassia) somt zelfs vierentwintig bezwaren tegen de leer van Ptolemaios op, waaronder het belangrijkste wel dit is, dat volgens de theorieën van den *Almagest* de schijnbare middellijnen van de maan en de planeten tussen veel wijdere grenzen zouden moeten schommelen dan in feite het geval is. Ook hij laat het echter bij een schuchtere poging, om tot een andere theorie te komen[34].

c. *De leer der aardbeweging*

149. Nu we in het bovenstaande enkele principiële kwesties hebben leren kennen waartoe de beoefening van de astronomie in de Middeleeuwen aanleiding heeft gegeven, is het voor ons doel niet nodig, dieper op het verloop van haar geschiedenis in dien tijd in te gaan. Principieel nieuwe wegen worden er evenmin in bewandeld als in enigen anderen tak der

natuurwetenschap. Ook voor haar laten zich echter enkele tekenen onderkennen die naar een toekomstige radicale verandering wijzen en opnieuw is het de school der Parijse Terministen waarin we ze aantreffen.

Voor een deel zijn het tekenen die we eerst achteraf, nu we weten hoe de ontwikkeling verder verlopen is, als zodanig kunnen beschouwen. Dit is b.v. het geval met de toepassing van het impetus-begrip op de bewegingen der hemellichamen, waarin we thans een aankondiging kunnen zien van de latere onderwerping van de hemelverschijnselen aan de wetten der aardse mechanica, maar die door de tijdgenoten wellicht helemaal niet als iets wezenlijk nieuws zal zijn beschouwd.

Dat is echter ongetwijfeld wel het geval geweest, en hier zullen scherpziende tijdgenoten wel het gevoel van een blik in een mogelijke toekomst hebben kunnen krijgen, met een in de veertiende eeuw opgestelde theorie, waarin de dagelijkse hemelbeweging werd verklaard door te onderstellen, dat niet de hemel in een dag westwaarts om de hemelas wentelt, maar dat de aarde in denzelfden tijd een volledige oostwaarts gerichte wenteling uitvoert die we niet rechtstreeks maar slechts als een schijnbare draaiing van den in feite onbeweeglijken sterrenhemel ervaren. Deze theorie wordt op een volkomen duidelijke wijze uiteengezet, door positieve argumenten ondersteund en door weerlegging van mogelijke bezwaren verdedigd in het *Traité du Ciel et du Monde* van Oresme[35]; na alles wat we boven reeds over hem vernamen, vormt zij een nieuw bewijs van de grote historische betekenis van dezen denker.

Oresme begint met de gangbare tegenargumenten op te sommen: wij zouden bij oostwaartse draaiing van de aarde voortdurend een sterken Oostenwind moeten voelen; een verticaal omhooggeworpen steen zou Westelijk van het uitgangspunt moeten neerkomen. Maar, merkt Oresme op, de lucht draait, evenals het water, mee. Dat wij den hemel zo duidelijk zien draaien, is ook geen argument: wanneer twee schepen op zee niets dan elkaar zien, kunnen ze ook niets uitmaken over hun bewegingstoestand. Zijn er dus geen waarnemingen, die beletten, een aardbeweging aan te nemen, ook door redenering is de onderstelling niet te weerleggen. De tegenstander moge zich beroepen op het feit, dat de natuurlijke beweging van de aarde rechtlijnig is, zodat een wenteling slechts gedwongen en dus niet eeuwig zou kunnen zijn, hij moge ook vragen naar de virtus die de wenteling teweegbrengt. Oresme antwoordt, dat weliswaar de delen der aarde, buiten hun natuurlijke plaats gebracht, zich van nature rechtlijnig bewegen, maar dat de aarde als geheel op grond van haar natuur of vorm rondwentelt, juist zoals het de natuur van ijzer is, zich naar een magneet toe te bewegen. Hij wijdt ook de nodige aandacht aan de destijds reeds gangbare bewering, dat de leer van de bewegende aarde in strijd zou zijn met de H. Schrift. In de hiertoe aangehaalde passages past de Schrift zich kennelijk aan het gewone spraakgebruik aan; in feite heeft echter ter wille van Jozua de aarde een tijdlang stilgestaan en niet

de hemel. En dat is ook redelijk: als God een wonder verricht, doet Hij dat liefst zo, dat de algemene loop der natuur zo weinig mogelijk verstoord wordt; dat geschiedt echter in mindere mate wanneer de kleine aarde wordt stilgezet dan wanneer het gehele apparaat der hemelse spheren tot rust wordt gebracht.

150. Het kan verbazing wekken, dat iemand die zo sterk als Oresme overtuigd is van de relativiteit van het bewegingsbegrip, zo uitgesproken partij kiest voor de draaiing van de aarde en tegen die van den hemel, inplaats van te concluderen, dat men niet kan uitmaken, welke van de twee werkelijk draait. Maar hij heeft daarvoor positieve argumenten, waarvan het voornaamste berust op de te allen tijde als onwrikbaar gevoelde zekerheid, dat de natuur zo eenvoudig, doelmatig en redelijk is ingericht, als we het ons maar kunnen denken. Het is echter ongetwijfeld redelijker en eenvoudiger, dat alle lichamen die de wereld constitueren, van de centrale aarde af tot de spheer der vaste sterren toe, met een gestadig afnemende hoeksnelheid (voor de aarde een omwenteling per dag; voor de vaste sterren een in 36.000 jaar) in dezelfde richting (Oostwaarts) binnen een onbeweeglijken hemel rondwentelen, dan dat men, na van een rustende aarde uit spheren te hebben doorlopen, die met een gestadig afnemende hoeksnelheid Oostwaarts wentelen, ten slotte op een sterrenspheer stuit die met de zeer veel grotere hoeksnelheid van een omwenteling per dag Westwaarts draait.

De leer van de aardwenteling bevredigt ook ons gevoel van rangorde beter. Wat van anderen iets te ontvangen heeft, moet zich bewegen om het deelachtig te worden; zo de aarde om licht, warmte en hemelse invloeden te verkrijgen. Draait ook niet het braadspit boven het vuur in-plaats van het vuur om het spit? Ook is het redelijk, dat de aarde, die uit de minderwaardigste elementen bestaat, in beweging en de hemel in rust is, omdat rust nobeler is dan beweging.

Oresme besluit zijn betoog met de verrassende opmerking, dat de leer der aardbeweging ook zo belangrijk is omdat ze argumenten aan de hand doet ter bestrijding van aanvallen op het geloof: zij strijdt namelijk schijnbaar evenzeer tegen de natuurlijke rede als de geloofsartikelen; wanneer zij nu toch waar blijkt te zijn, kan schijnbare ongerijmdheid ook niet meer tegen het geloof worden uitgespeeld.

151. Er wordt in deze merkwaardige bladzijden van het *Traité du Ciel et du Monde* reeds veel gezegd wat Copernicus twee eeuwen later in het eerste boek van zijn grote werk *De Revolutionibus Orbium Caelestium* onveranderd zal herhalen. En daarmee wordt hier reeds principieel het hoofd geboden aan den tegenstand dien het denkbeeld van de bewegende aarde in de zestiende en zeventiende eeuw zal ontmoeten. Die tegenstand zal zich namelijk, voorzover ze van physische zijde komt, niet zozeer blijken te richten tegen de heliocentrische gedachte als zodanig, dus tegen de centrale positie van de zon, als wel tegen de ontkenning van de onbe-

weeglijkheid van de aarde. Die ontkenning heeft echter al plaats, wanneer men, zonder zelfs ook maar aan een heliocentrisch wereldbeeld te denken, dus de centrale plaats der aarde handhavend, de dagelijkse hemelbeweging als een afspiegeling van een aardrotatie gaat beschouwen.

Oresme blijkt niet de enige veertiende-eeuwse scholasticus te zijn die met de mogelijkheid van deze beschouwingswijze ten volle vertrouwd is. Zo kan men haar in Buridan's commentaar op *De Caelo* van alle kanten, physisch, astronomisch en metaphysisch, bestudeerd vinden[36], zij het ook zonder dat er een zo sterke voorkeur voor het denkbeeld tot uiting komt als men bij Oresme kan opmerken. Wanneer het op het trekken van de conclusie aankomt, blijkt bij Buridan de invloed van de Aristotelische physica sterker te zijn dan de aantrekkingskracht van de vereenvoudiging die de hypothese van een rotatie der aarde in het wereldbeeld brengt, en hij blijft haar dus ten slotte als onbeweeglijk centraal lichaam beschouwen. Dat hij deze keuze doet, is alleszins begrijpelijk: aan de aarde een rotatie toekennen, betekende in dien tijd, waarin het bewegingsbegrip nog niet voldoende gerelativeerd was, om er slechts een kwestie van standpunt in te zien, of men van een lichaam wil zeggen, dat het in rust of dat het in beweging is, een beslissing van absolute betekenis; en dat niet in een detailkwestie, maar in een aangelegenheid die met de grondslagen van de Aristotelische natuurbeschouwing onverbrekelijk samenhing; wie die beslissing nam moest, consequent blijvende, de gehele heersende natuur-philosophie en kosmologie verwerpen, zonder dat hij iets had aan te bieden dat er voor in de plaats zou kunnen komen. Een astronoom kon zich de weelde veroorloven, om zonder op consequenties van wereldbeschouwelijken aard te letten, de nieuwe theorie ter wille van de vereenvoudiging die ze bracht, te aanvaarden; van een philosoof, die het probleem in het dubbele licht van metaphysica en positieve wetenschap moest bezien, was een zelfde stap redelijkerwijs niet te verwachten.

De rijkdom aan argumenten pro en contra aardrotatie die Buridan, getrouw aan de scholastieke traditie, bij de behandeling van de kwestie te berde brengt, wekt den indruk, dat er over deze zaak reeds veel vaker discussies waren gevoerd; uiteraard gaf de commentariëring van *De Caelo* een ongedwongen aanleiding, haar ter sprake te brengen: Aristoteles behandelt haar immers zelf (*De Caelo* II, 14). Zo deelt Albert van Saksen, dit werk uitleggend, mee, dat een van zijn leermeesters de gewoonte had, haar ter sprake te brengen en dan als conclusie te poneren, dat de onbeweeglijkheid van de aarde niet bewezen kan worden. Albert zelf deelt die mening niet: in de onderstelling van een draaiende aarde, zou het, meent hij, niet mogelijk zijn, de verschijnselen van oppositie en conjunctie van de planeten en de eclipsen van zon en maan te begrijpen. Daarin heeft hij natuurlijk ongelijk; de opmerking is echter van belang, omdat zij de vraag doet rijzen, of de bedoelde docent wellicht ook over een mogelijke jaarlijkse beweging van de aarde om de zon gesproken heeft; men kan zich namelijk

bezwaarlijk voorstellen, dat de dagelijkse rotatie aanleiding tot moeilijkheden bij de verklaring der genoemde verschijnselen kan hebben opgeleverd, wèl dat men aanvankelijk in de war is gekomen, wanneer men de aarde als een planeet om de zon liet lopen[37].

Van nog ouderen datum dan het getuigenis van Albert van Saksen, namelijk van vóór 1322, is een mededeling van Franciscus van Meyronnes[38], dat een zekere doctor placht vol te houden, dat men een bevredigender wereldbeeld zou krijgen wanneer men de aarde zich liet bewegen en den hemel liet stilstaan.

Eindnoten:

1 Michalsky.
2 Maier (4), Michalsky, Moody, Moser, Taylor.
3 Talrijke voorbeelden bij Michalsky (3) 61-81.
4 Michalsky (5).
5 Lappe, Weinberg.
6 Michalsky (3) 65.
7 Over de ontwikkeling van deze stromingen onder Joods-Arabische invloeden (al-Ghazzâlî, Maimonides) Michalsky (2).
8 Duhem (2) Maier (3) (4) (5).
9 De school van Buridan wordt in de latere Middeleeuwen algemeen als die der. Terministen aangeduid, zonder dat echter ondubbelzinnig blijkt wat deze term betekent.
10 Borchert, Maier (5).
11 Aristoteles, *Metaphysica* H 3; 1044^{a} 9-11.
12 Duhem (4) (6), Dijksterhuis (1), Maier (4).
13 Duhem (4) (6), Dijksterhuis (1), Maier (3) (4).
14 Pines.
14a Maier (4) 198 n. 1; (8) 133 n. 4.
15 Jansen.
16 Maier (3) 90; (8) § 5.
17 Hoenen (1) 172.
18 Duhem (4), Dijksterhuis (1), Maier (2) (4) (6).
19 Maier (2) 68.
20 Maier (7).
21 Dijksterhuis (6) 89-91.
22 Duhem (4) III, Durand, Dijksterhuis (1), Maier (3) (4) (6), Wieleitner.
23 Dit nieuwe inzicht in de betekenis van de figuren van Oresme hebben wij geheel aan Maier (3) (4) (6) te danken.
23a Hoenen (2).
24 Maier (4) 328-338.
25 Maier (4) 338.
26 Hooykaas (1) (5), Maier (4).
27 Hooykaas (5), Maier (8) § 7, van Melsen.
28 Dreyer, Duhem (6) III.
29 Dreyer, Duhem (6) II, Gauthier, Munck, Sarton.
30 Thomas (3) I, Lectio XVII. Opera III. Duhem (6) III 354.
31 Duhem (6) III 383-396.
32 Roger Bacon, *Communia Naturalium*. (3) Fasc. IV, 443-44.
33 Duhem (6) III 442-460.
34 Zinner (2) 82.
35 Duhem (3).
36 Bulliot.
37 Duhem (7).

38 Duhem (7).

Deel III
De voorbereiding van het ontstaan der klassieke natuurwetenschap

I. De betekenis van het Humanisme en van de philosophie der Renaissance voor de natuurwetenschap

A. Het Humanisme

1. Tussen de middeleeuwse en de klassieke natuurwetenschap laat zich een periode waarin de komende vernieuwing van het denken wordt voorbereid en aangekondigd, niet even ongekunsteld inschuiven als Oudheid en Middeleeuwen zich door een tijdperk van geestelijke stagnatie in Europa en bewaring van het antieke geestesgoed door den Islam lieten scheiden. Toen was er inderdaad een lacune in de ontwikkeling, waarop de eerste renaissance der wetenschap, die van de dertiende eeuw, als een tamelijk plotselinge ommekeer volgde. Van de nu op handen zijnde tweede renaissance, die van de vijftiende en zestiende eeuw, waren echter in de dertiende en veertiende eeuw reeds tekenen te bespeuren en het zou dan ook moeilijk zijn, nauwkeurig te zeggen, wanneer we de periode waaraan dit hoofdstuk gewijd is, eigenlijk willen laten beginnen.

Toch is het niet alleen ter wille van een overzichtelijke stofindeling, dat we haar afzonderlijk bespreken. Wanneer namelijk in de vijftiende en zestiende eeuw de tekenen van de komende vernieuwing in het natuurwetenschappelijk denken steeds sterker en duidelijker worden, dan getuigt dat niet uitsluitend van een voortzetting van een ontwikkeling die in de veertiende begonnen was; integendeel, de impuls die van de Parijse Terministen was uitgegaan, zou voorlopig, zonder geheel uit te sterven, geen noemenswaarde uitwerking vertonen. Belangrijker is, dat naast de geestelijke macht die door de in de Universiteiten georganiseerde wetenschappelijke beoefening der Scholastiek vertegenwoordigd wordt, nieuwe invloeden werkzaam zijn geworden, die haar op den duur zullen overvleugelen.

2. Als eerste van die invloeden geldt van oudsher die van het Humanisme, de geestelijke beweging die van de rechtstreekse studie der klassieke Oudheid het heil verwachtte dat de in verval geraakte en in traditie verstarde Scholastiek niet meer brengen kon. Weliswaar lag de voornaamste betekenis van deze nieuwe stroming op artistiek en philosophisch terrein, maar het bekend worden van den oorspronkelijken Grieksen tekst van allerlei antieke werken op het gebied van wiskunde en natuurwetenschap moest aan de beoefening van deze vakken evenzeer ten goede komen als de studie der antieke litteratuur de letterkunde tot nieuwen bloei bracht en de bouwkunst van de antieke voorbeelden op haar terrein profiteerde. Ook kon het niet zonder uitwerking blijven, dat de overheersende philosophie van het Humanisme die van Plato was, omdat daardoor het in de Scholastiek al te machtig geworden Aristotelisme weliswaar niet werd uitgeschakeld - het Humanisme streefde ten slotte er toch ook naar, de

geschriften van den Stagiriet in hun zuiveren vorm te leren kennen - maar toch binnen redelijker grenzen werd teruggebracht.

Bij nadere bezinning wordt het echter spoedig duidelijk, dat de invloed dien het Humanisme op de ontwikkeling der natuurwetenschap heeft kunnen hebben, vooreerst niet voldoende kan zijn geweest om de herleving, die ten slotte gekomen is, geheel te hebben teweeggebracht en vervolgens niet eens in alle opzichten zo gunstig heeft gewerkt als een traditionele schildering van de Renaissance het wel eens voorstelt.

Dat wordt vooreerst al duidelijk, als men bedenkt, dat voor het Humanisme de klassieke Oudheid een als ideaal vereerde periode uit de geschiedenis der mensheid vormt, waaraan als zodanig een autoriteit over het denken wordt toegekend die een tegenhanger vormt van het gezag van Aristoteles in de Scholastiek. Nu vormt echter vooreerst zulk een instelling op het verleden in het algemeen al geen gunstigen voedingsbodem voor de beoefening van een wetenschap die niet wil reconstrueren en imiteren, maar die er op uit is, het onbekende te onderzoeken; en ze deed dat zeker in het bijzonder niet, nu het om een richting van onderzoek ging die in de als voorbeeld beschouwde Oudheid lang niet in alle opzichten met succes was gevolgd. Wiskunde en astronomie konden natuurlijk bij het bekend worden van Griekse bronnen niet anders dan wèl varen en de werken van Euclides, Archimedes, Apollonios, Pappos, Diophantos en Ptolemaios hebben dan ook inderdaad een zegenrijke uitwerking op het denken uitgeoefend; voor de natuur- en scheikunde was zulk een uitwerking echter niet te verwachten; weliswaar · hebben de mechanica en de optica van het herstelde contact kunnen profiteren, maar de physische kosmologie der Grieken, hun meteorologie en hun alchemie waren nu juist niet de bronnen waaruit een zich vernieuwende natuurwetenschap voedsel kon putten.

Daar komt nog bij, dat bij de grote meerderheid der humanisten de ware waardering voor het wetenschappelijk onderzoek der natuur ten enen male ontbrak en dat ze met de door hen zo fel bestreden en geminachte scholastici tal van eigenschappen gemeen hadden, die hen beletten, die waardering te verwerven: kaste-hoogmoed, eenzijdige geestelijke instelling (bij hen op het philologische, bij de scholastici op het metaphysische), minachting voor handenarbeid, gebrek aan mathematische scholing. Het is waarlijk nog niet zo heel lang geleden, dat hun moderne nazaten begonnen zijn, die houding enigszins af te leggen.

3. Dat men bij een eerste beschouwing zo spoedig geneigd is, het Humanisme uitsluitend als een gunstigen factor voor het ontstaan der natuurwetenschap te zien, vindt zijn gerede verklaring in zijn vijandigheid tegenover de Scholastiek. Wie namelijk gewend is, het scholastieke denken als van nul en gener waarde voor het wetenschappelijk riatuuronderzoek te beschouwen - ongetwijfeld een veel verspreide mening - moet onwillekeurig een stroming, die, zij het ook op andere, meer aesthetische of

philologische gronden (het barbaarse Latijn), voor datzelfde denken niet anders dan spot en hoon over had, als bevorderlijk beschouwen voor iedere geestesrichting die men door de Scholastiek geremd en gestoord ziet. Maar men hoede zich voor de illusie, dat men uit het bezit van een gemeenschappelijken vijand tot harmonische verbondenheid zou mogen concluderen en dat men dus van figuren als Marsilio Ficino en Erasmus voor de bevordering der natuurwetenschap iets zou mogen verwachten, omdat de eerste de Paduaanse scholastici bestreed en de tweede de Parijse bespotte.

De verwachting van een tegen de Scholastiek gericht natuurlijk bondgenootschap tussen. Humanisme en Natuurwetenschap wordt nog sterker beschaamd, wanneer men eens gaat overwegen, of van de oriëntering op Plato, die het humanistisch denken karakteriseert, voor de studie der natuur eigenlijk zo veel meer te verwachten was dan van de onderschikking aan Aristoteles, die aan het scholastieke denken eigen was. Dat is zeer zeker niet het geval, wanneer men op het empirische element let, dat voor de vernieuwing van het natuuronderzoek van zo essentiële betekenis zou worden. Principiële waardering van de zinlijke ervaring als kenbron is namelijk wel typerend voor den schutspatroon der Scholastici, maar allerminst voor den heilige der Humanisten en dat de eersten er voor ons gevoel het methodisch ideaal dat uit die waardering behoort voort te vloeien, het experimentele onderzoek der natuur, in onvoldoende mate hebben verwezenlijkt, mag niet doen vergeten, dat het voor de laatsten helemaal geen ideaal was.

Dit alles in te zien, beduidt natuurlijk geen blindheid voor de positieve waarden die het Humanisme voor de herleving van de natuurwetenschap toch ook in ruime mate heeft bezeten. Wie er, gelijk Duhem, slechts *un culte superstitieux des anciens* in ziet[1], vergeet den boven reeds aangewezen stimuleren den invloed die van de ontsluiting der oorspronkelijke bronnen van de Griekse wiskunde en astronomie is uitgegaan; hij ziet de uitwerking over het hoofd die een figuur als de kardinaal Bessarioon gehad heeft en het nauwe verband tussen astronomie en humanisme dat bij onderzoekers als Peurbach en Regiomontanus te constateren valt. Ook is over den invloed van Plato in deze periode niet het laatste woord gezegd, wanneer rnen hem alleen als anti-empirisch ingestelden physicus genoemd heeft; want hij was ook een pythagoraeïsch mathematicus en als zodanig heeft hij de natuurwetenschap, die immers naast een empirischen ook een essentieel mathematischen kant heeft, weer wel kunnen bevorderen.

4. Het tijdperk der Renaissance, waarin zich de overgang van het middeleeuwse tot het klassieke natuurwetenschappelijke denken voltrekt, bezit echter, zelfs indien men het uitsluitend beschouwt om wat het voor dien overgang betekend heeft - hetzelfde eenzijdige standpunt, dat we in dit boek voortdurend ten aanzien van de cultuurgeschiedenis in het algemeen

en de geschiedenis der wijsbegeerte in het bijzonder moeten innemen - veel meer kanten dan de aan de Universiteiten voortlevende scholastieke wetenschapsbeoefening en de hernieuwde oriëntering op de Oudheid, die het Humanisme bracht.

Vooreerst bezit het een philosophie die, ondanks menigen samenhang met de middeleeuwse en nauwe verbondenheid met de antieke, zoveel karakteristieks en eigens heeft en zo duidelijk een veranderde geestelijke instelling van den mens tot uiting brengt, dat zij als een zelfstandige periode in de geschiedenis van het wijsgerig denken beschouwd mag worden. We zullen thans eerst nagaan, in hoeverre deze renaissance-philosophie tot het ontstaan van de klassieke natuurwetenschap heeft kunnen bijdragen.

De eerste figuur die dan onze aandacht vraagt, is tevens haar vroegste vertegenwoordiger: het is de Duitse denker Nikolaas van Kues, beter bekend onder den gelatiniseerden naam Cusanus, een man van grote en veelzijdige betekenis, dien we echter hier ook alleen zullen behandelen, voorzover zijn werk voor de geschiedenis der natuurwetenschap van belang is.

B. Nikolaas van Kues[2]

5. Cusanus is voor alles metaphysicus. Echter staat hij in een tweevoudige relatie tot de wis- en natuurkundige wetenschappen. Bij den opbouw van zijn metaphysisch stelsel vervullen wiskundige begrippen en beschouwingswijzen een belangrijke functie èn er vloeien voor de natuurwetenschap conclusies van vergaande strekking uit voort, zo vergaand, dat er een omwenteling in het denken teweeg zou zijn gebracht, wanneer zij in de vijftiende eeuw door de beoefenaars van de vakwetenschappen waren overgenomen en in practijk gebracht. Dat dit niet gebeurd is, mag onze belangstelling voor zijn zeer merkwaardige denkbeelden niet verminderen.

De invloed van den wiskundigen denkvorm komt reeds dadelijk op de eerste bladzijde van zijn meest bekend geworden werk *De docta ignorantia* (Over de wijze onwetendheid) tot uiting. Hij zet daar uiteen, dat alle onderzoek van iets onbekends neerkomt op het opmerken van overeenkomst en onderscheid met iets bekends, vindt die twee kenmerken ook in het opstellen van een mathematische verhouding en besluit daaruit met een zijn redeneertrant typerende omkering, dat alle kennen uit het bepalen van verhoudingen bestaat en dat het dus niet zonder medewerking van getallen tot stand komt. Door dit beginaccoord is de spheer waarin we ons bevinden, al dadelijk gekarakteriseerd: het zijn bekende Platonisch-Pythagoraeïsche klanken.

Uit de gegeven bepaling van het kennen volgt onmiddellijk, dat het on-

eindige, dat immers geen verhouding tot het eindige heeft, voor ons niet kenbaar is; wij blijven ten aanzien hiervan bevangen in ignorantia, die echter het adjectief docta verdient, omdat iemand des te wijzer mag heten, naarmate hij haar dieper beseft.

Dit besef beduidt echter allerminst agnosticisme; het oneindige moge voor onze rede rechtstreeks onkenbaar zijn, er bestaan middelen het als in een spiegel te zien of in een teken te onderzoeken (*symbolice investigare*) en het is de wiskunde die ons die middelen verschaft. Zij handelt weliswaar over eindige figuren, maar de beschouwing van de eigenschappen hiervan kan een weg naar het oneindige openen.

Men denke zich een cirkel waarvan de straal onbegrensd groeit; zijn kromming zal afnemen en hij zal steeds meer op een rechte gaan gelijken. Voor de ratio, het redelijk denken, blijven rechte lijn en cirkel, het rechte en het kromme, tegenstellingen, maar een hoger geestelijk vermogen, dat men, omdat het voortbouwt op het onbetwijfelbare dat de wiskunde leert, veeleer suprarationeel dan irrationeel moet noemen, stelt ons in staat, de oneindige rechte als cirkel met oneindig groten straal te beschouwen. De tegenstelling, die in het eindige bestond, is nu opgeheven; in het oneindige heeft zich de *coincidentia oppositorum* (het samenvallen der tegenstellingen) voltrokken. De oneindige rechte *is* dus een cirkel; ze is echter tevens een driehoek, waarvan de tophoek 180^{o} is gaan bedragen en die driehoek is ook een cirkel; evenzo is ze vierhoek, vijfhoek enz.

Ziehier nu den spiegel dien de wiskunde ons voorhoudt, bet teken dat zij ons geeft: zoals in de oneindige rechte de tegenstellingen tussen eindige figuren, zijn in God alle tegenstellingen die het Universum, de wereld van het waarneembare en denkbare, kent, opgeheven. Hier, in de spheer van de *alteritas*, het anders zijn, was geen ding zonder andere dingen, geen begrip zonder de orde der andere begrippen, geen getal zonder de rij der andere getallen. Daartegenover staat God als het *Non Aliud*, het niet-andere, het absoluut enige en enkelvoudige, dat alles tegelijk kan zijn, omdat het onttrokken is aan het axioma van onze rede, dat iets niet tegelijk iets anders kan zijn. In Zijn oneindigheid heeft nu de coincidentia oppositorum voor het Universum plaats: de mens verschilt hier niet van den leeuw, de hemel niet van de aarde. Daar in Hem geen sprake meer is van de verhoudingen die de onderlinge relaties van de dingen der wereld vastleggen, staat Hij tegenover de wereld als het absolute tegenover het relatieve, als de eenheid tegenover de veelheid. Daar de oneindigheid geen vergelijking toelaat, is er niets groters, maar ook niets kleiners dan Hij. Hij is tegelijk het absolute maximum en het absolute minimum. Ook deze begrippen moeten worden verstaan in transcendenten, de redelijkheid te boven gaanden zin. Maar weer kan ons de wiskunde een vingerwijzing geven, hoe we dit moeten verstaan: de oneindige rechte is maximaal recht en minimaal krom. Of algemener: een maximum is maximaal groot en een minimum maximaal klein; abstraheer hier van de quantiteit

door groot en klein weg te laten en ge houdt de *maximitas*, het superlatieve over; in zoverre vallen reeds voor het redelijke denken maximum en minimum in het beide omvattende begrip extreem samen.

6. Wij kunnen thans reeds enkele consequenties van kosmologischen aard trekken, waartoe deze wiskundige, of zoals Cusanus met pseudo-Dionysius Areopagita zegt, deze cirkelvormige theologie[3] leidt. Ze liggen alle besloten in de simpele overweging, dat het Universum het absolute niet bevat. Daarom kan het al dadelijk geen middelpunt en geen omhullende begrenzing hebben. God is er, maar in transcendenten zin, centrum en peripherie tegelijk van. Ook kan er niets in in rust verkeren, tenzij, weer in denzelfden transcendenten zin, God. Verder zijn er geen rangverschillen: van het absolute staat alles oneindig ver af; het ene kan er op andere wijze aan deel hebben dan het andere, maar van onderling vergelijkbare, in verhouding tot elkaar te beschouwen graden van participatie is geen sprake.

Het is dus, om het concreet te zeggen, niet waar, dat de aarde onbeweeglijk in het midden van het heelal zou staan, dat dit zelf begrensd zou worden door een alles omvattende buitenste spheer, dat de elementen elk hun eigen natuurlijke plaats zouden hebben, dat er rangverscbillen tussen hen zouden bestaan, dat met name de hemellichamen essentieel van het ondermaanse zouden verschillen en dat de aarde het slechtste en verachtelijkste deel van het heelal zou zijn. Zij is een ster, even edel als alle andere en ze beweegt zich als zij. Men late zich niet misleiden door haar donkerheid; wanneer wij de zon van nabij konden zien, zouden we ook in haar een donkere aardekern ontwaren en van buitenaf zou onze aarde wegens haar omhullende vuurspheer zich ook als een lichtende ster voordoen.

Hiermee zijn echter de consequenties van het denkbeeld, dat het absolute alleen in het oneindige, dus bij God, te vinden is, niet uitgeput. Er volgt ook nog uit, dat in de wereld geen absolute gelijkheid voorkomt en dat dus ook volkomen exactheid in het meten of het construeren onbereikbaar is. Het is het zelfde inzicht, dat Leibniz later zal formuleren in het *axioma identitatis indiscernibilium* (identiteit van het niet onderscheidbare); bij Cusanus neemt het den vorm van het onderscheiden zijn van het niet-identieke aan. Alle schijnbare gelijkheid is slechts gelijkenis, die onbegrensd verbeterd kan worden. De aarde is bolvormig en de sterren beschrijven cirkels om de hemelas, maar de eerste is geen volkomen bol en de cirkels zijn geen echte cirkels; in geen van al deze gevallen wordt het maximum van perfectie bereikt. Het exacte is nooit feitelijk bestanddeel der werkelijkheid. De wereld der wiskundige begrippen en relaties kan nooit iets anders zijn dan een ideaal beeld van die der ervaring.

7. Het kan natuurlijk den schijn hebben, alsof de onbegrensdheid van het Universum, die er aan toegekend wordt omdat een grens iets absoluuts zou zijn, er nu juist zelf het absolute karakter aan verleent, dat slechts

aan God eigen is. Men moet echter onderscheiden: het Universum is oneindig in denzelfden zin als de rij der natuurlijke getallen: er komt geen einde aan. Zoals bij ieder getal een groter bestaat, wordt iedere afstand in het heelal door een groteren overtroffen. Door deze onmetelijkheid zijn beide ongetwijfeld met God verwant, maar doordat hun oneindigheid slechts privatief is, slechts het ontbreken van een afsluiting beduidt, verschillen zij toch weer wezenlijk van Hem. Want bij God is oneindigheid intensieve volkomenheid, die niet wordt vastgesteld door het niet aflopen van een meting of telling, die niet bestaat in een steeds-nog-weer-meer of -groter, maar die van te voren aan iedere gedachte van meting onttrokken is. Had Cusanus beschikt over de terminologie van de moderne wiskunde, dan zou hij wellicht het Universum infiniet, God daarentegen transfiniet hebben genoemd.

8. Dat het Universum in zijn onmetelijkheid met God verwant wordt genoemd, beduidt meer dan een analogie. God is namelijk in zijn transcendente eenheid de drager van de veelheid van het heelal. Hij is er de *complicatio* (samenvouwing) van, terwijl het Universum Zijn *explicatio* (ontvouwing) is. De wiskunde verduidelijkt dit weer: door explicatio ontstaat uit het punt de lijn, uit de lijn het vlak, uit het vlak de ruimte, uit het nu de opeenvolging van dagen, maanden en jaren, uit de rust de beweging. Met de zelfontplooiing van God tot het Universum (die niet mag worden verstaan in den zin van een neo-Platonische emanatie, omdat zij geen rangverschillen vestigt en omdat het absolute door geen hierarchie van zijnstrappen te benaderen is) is de ontvouwing van den menselijken geest tot de wereld der begrippen te vergelijken. Ook hier gaat een samengevouwen eenheid tot veelheid uiteen, tot het tiental der categorieën, tot de rij der natuurlijke getallen, tot de veelheid der begrippen in het algemeen. Door te onderscheiden en te vergelijken, door samen te vatten en te verdelen gaat de geest op zijn wijze scheppend te werk: zijn eenheid blijft aan de veelheid van de ge dachtenwereld ten grondslag liggen zoals de oneindige eenheid Gods aan het Universum. Ondanks de ignorantia heeft hij, denkend, deel aan God's oneindigheid.

Ook ontneemt de ignorantia aan dit denken, dat wetenschap voortbrengt, zijn waarde en betekenis niet. De rede blijft weliswaar gebonden aan de beperking, dat zij niet in staat is, het tegengestelde te verenigen, wat het intellect als metaphysisch orgaan wel vermag: zij maakt onderscheidingen, waar het intellect eenheid ziet; maar in haar specifieke functie doet zij haar werk volledig en zelfstandig en zonder onderworpen te zijn aan een macht boven haar. De inzichten die zij verwerft, zullen wel nooit volstrekte waarheden kunnen worden, maar zij zullen een toegangsweg kunnen openen tot de intellectuele intuïtie van de absolute eenheid. Daartoe zullen echter bij het wetenschappelijk onderzoek drie dingen in acht moeten worden genomen: vooreerst moet men zich trachten te bevrijden van den invloed van den zinlijken schijn, die er b.v. toe verleidt, de aarde

voor onbeweeglijk te houden; al het zinlijk waarneembare bestaat slechts uit tekens die om duiding vragen. Vervolgens moet men overal quantitatieve kriteria toepassen: voor het ontvouwingsproces, waarin de eenheid tot veelheid wordt, is de categorie van de quantiteit het natuurlijke denk-middel. En ten slotte moet men er zich steeds van bewust blijven, dat het Heelal de explicatie Gods is, dat Zijn scheppen daarin bestaat, dat Hij alles is (*Creare Dei esl esse omnia*) en dat onze geest in ons denken dat scheppen als het ware nabootst.

9. Het metaphysisch gedachtenstelsel van Cusanus, waarvan we hiermee enkele belangrijke trekken hebben geschetst, vertoont natuurlijk in vele opzichten, met name waar het de onmogelijkheid ondervindt, het absolute en goddelijke anders dan door negatieve kenmerken te bepalen en geen anderen weg om het te benaderen open laat dan het uitstijgen boven alle eindige maten en verhoudingen, een nauwe verwantschap met de middeleeuwse mystiek, zoals deze onder invloed van pseudo-Dionysius Areopagita was gegroeid en in Eckhart tot voltooiing was gekomen. Echter onderscheidt het zich daarvan ook weer door een overheersen van het verstandelijke boven het gevoelselement: de verwantschap van den menselijken geest met God, die in de visio intellectualis tot uiting komt, wordt niet ondervonden als een toestand van extase, maar is het resultaat van de werking van een redelijke denkkracht, die haar natuurlijke grenzen overschrijdt. Het wiskundige begrip van limietovergang, waarin het oneindige, dat door het aaneenschakelen van eindige stappen nooit bereikt wordt (een in een cirkel beschreven regelmatig polygoon met *n* zijden is voor geen enkele waarde van *n* een cirkel; bij het doorlopen van de rij der natuurlijke getallen stoot men nooit op een getal oneindig), door een boven-redelijken sprong (*transcensus in infinitum*) toch binnen den kring van ons verstandelijk kennen getrokken schijnt te worden, is het ware symbool voor de wijze, waarop wij ondanks de beperkingen van onze rede toch tot een intellectuele Godskennis (die echter ignorantia blijft) kunnen komen. Men moet dan alleen het begrip limietovergang niet opvatten in den exacten zin waarin de moderne wiskunde het heeft leren verstaan en waarin van een werkelijk overgaan naar het oneindige geen sprake meer is (alles komt neer op het vervuld zijn van zekere ongelijkheden), maar op de half redelijke, half mystieke wijze, waarop het tot in de achttiende eeuw gebruikt zou worden. Ook in de negentiende-eeuwse wiskunde ontbreekt het echter niet aan begrippen die Cusanus gaarne als symbool van zijn visio intellectualis zou hebben aanvaard en waarvan hij het doordenken als propaedeuse voor zijn theologie zou hebben kunnen aanraden: de transfiniete kardinaalgetallen van Cantor kunnen in zijn analogie de functie overnemen die de limieten naar hedendaags inzicht niet meer kunnen vervullen.

10. Wie zich het rationalistische element, dat in de theologie van Cusanus met het mystieke harmonisch verenigd is, goed bewust blijft (rationalisme

en mystiek liggen, zoals de geschiedenis der wiskunde leert, dicht bijeen) en zich dan tevens herinnert, dat hij in de categorie der quantiteit het denkmiddel bij uitnemendheid zag om van de wereld te leren verstaan wat er ons van te verstaan gegeven is, zal het niet meer zo verwonderlijk vinden als het hem zonder deze voorbereiding wellicht in de oren zou hebben geklonken, wanneer hij den groten metaphysicus als ware methode van natuuronderzoek het wegen hoort aanbevelen. Dit geschiedt in het geschrift *De staticis experimentis* (Proeven met de weegschaal) dat deel uitmaakt van het werk *Idiota* (De leek). Dit is een viertal dialogen (twee boeken *De sapientia*, een *De mente* en het reeds genoemde) waarin een leek, ongeleerd maar daardoor ook niet door inbeelding van weten geestelijk misvormd, aan een Rhetor, vertegenwoordiger van schoolse boekenwijsheid (die echter opmerkelijk vatbaar is voor de nieuwe denkbeelden die hij te horen krijgt), zijn gedachten over het absolute goddelijke, over den menselijken geest en ovér de betekenis van quantitatief experimenteel onderzoek uiteenzet. De wijsheid roept op de straten[4]; men krijgt er deel aan op de markt, waar men geld ziet tellen, koopwaren ziet wegen, olie en andere stoffen ziet afmeten en waar men dus onze rede in de uitoefening van haar meest fundamentele functie, het meten, gade kan slaan.

Wij ontmoeten hier weer den boven reeds aangeroerden grondtrek van het Cusaanse denken: alle vergelijken, alle vaststellen van verhoudingen en betrekkingen, is voor hem een meten; hij blijft den term zelfs gebruiken waar in den strikten zin van het woord niet meer van meten kan worden gesproken: hij noemt God den maatstaf van het Universum, de oneindige rechte de maat van het eindige lijnstuk; zelfs houdt hij vol (het is een etymologie, die men reeds bij Albertus Magnus vinden kan), dat het woord *mens* (geest) met *mensurare* (meten) samenhangt.

11. En zo verklaart de Leek dan ook, dat bepaling van gewichtsverhoudingen ons in staat zal stellen, waarschijnlijke gissingen te maken over de geheimen der dingen[5] (modern uitgedrukt: dat men door metingen te verrichten tot aannemelijke hypothesen over de natuurverschijnselen zal kunnen komen). De ratio kan op geen betere wijze het bespiegelend intellect ondersteunen in zijn streven, in de veelheid de eenheid, in het relatieve het absolute, in de eindigheid de oneindigheid, kortom in de wereld God te onderkennen.

In het werk *De staticis experimentis* worden hulpmiddelen en toepassingen van een elementaire metende physica behandeld. Er wordt gesproken over bepaling van soortelijke gewichten, over de opwaartse kracht die een in een vloeistof gedompeld lichaam ondervindt en het daarop berustende onderzoek van metaalmengsels. Dat de proeven alle met de weegschaal worden uitgevoerd, belet niet, dat er ook veel tijdmetingen in worden gedaan: twee tijdvakken kunnen immers vergeleken worden door de verhouding te bepalen van de gewichtshoeveelheden water die ge-

durende hun verloop uit een groot vat zijn uitgestroomd. Men kan dus het tempo van den polsslag in verschillende omstandigheden en bij verschillende personen vergelijken, valproeven doen, de verhouding van de diepten van verschillende wateren bepalen (een lichaam, dat in water zinkt, laat bij het treffen van den bodem een ander los, dat opstijgt; de diepte wordt beoordeeld naar den totaal benodigden tijd) en de snelheid van een varend schip meten. Ook kunnen zo astronomische metingen worden verricht, het uur van den dag en zelfs de dag van het jaar worden bepaald. Er is verder sprake van de meting van de sterkte van een magneet en van de kracht die een mens of een werptuig kan ontwikkelen. Uit de gewichtsvermeerdering van een hygroscopische stof (een kluwen wol) kan de vochtigheidstoestand van de lucht worden afgeleid. Ten slotte worden zelfs wiskundige toepassingen gemaakt: men zal een benadering van π vinden door twee vaten, waarvan het ene een cirkelvormige doorsnede met diameter *d* en het andere een quadratische met zijde *d* heeft, tot dezelfde hoogte met water te vullen en de verhouding van de gewichten dér twee hoeveelheden water te bepalen.

De grote meerderheid der proeven is zuiver fictief en wordt dan ook beschreven in den conditionalis: men zou, zo en zo te werk gaande, dat en dat kunnen meten. In verband hiermee wordt ook geen enkel numeriek resultaat meegedeeld. Ook wordt - een bekend jeugdsymptoom van de experimentele physica - de technische moeilijkheid van de voorgestelde proeven sterk onderschat en hun draagwijdte schromelijk overdreven. Cusanus wil zelfs de qualiteit van den oogst voorspellen door in Maart wegingen van water en graankorrels uit te voeren.

Dit alles neemt niet weg, dat het werkje *De staticis experimentis* historisch van groot belang is. Vooreerst als voorbeeld van de gedurende de gehele Middeleeuwen voortlevende experimentele traditie, waarvan we al vaker de sporen hebben kunnen opmerken, maar vervolgens als onmisbare trek in het beeld van den merkwaardigen denker die Cusanus geweest is.

12. De bovenstaande schets geeft natuurlijk slechts een flauwen indruk van den omvang en de diepte van het gedachtenstelsel, dat de kardinaal in zijn *De docta ignorantia* en andere werken heeft opgebouwd; zij zal echter toereikend zijn om de juistheid in te zien van wat we boven reeds opmerkten: er had in de 15e eeuw een omwenteling in het natuurwetenschappelijke denken kunnen optreden, wanneer de denkkracht die deze gedachten in het leven riep, eens verwante geesten onder de beoefenaren der vakwetenschappen tot vernieuwing had kunnen bezielen. Het gehele Aristotelisch-Ptolemaeïsche wereldstelsel, dat zo veilig en overzichtelijk besloten lag tussen de onbeweeglijke centrale aarde en de even onbeweeglijke buitenste spheer, waarin rust en beweging zo nauwkeurig waren vastgesteld en verdeeld, waarin ieder ding zijn rang kende en wist, welke plaats hem van nature toekwam, dit gehele symbool van de hierarchisch

geordende middeleeuwse samenleving, zou er met één slag door zijn weggevaagd en vervangen door de duizelingwekkende voorstelling van een oneindige wereldruimte zonder enig vast punt, waarin alles op zijn eigen wijze in beweging verkeert en waarin van hierarchische ordening geen sprake meer is. Duizelingwekkend zou die voorstelling geweest zijn, maar de huivering die Pascal later voor de eeuwige stilte van de oneindige ruimten zou gevoelen[6], zou er niet door opgewekt behoeven te zijn; daardoor hing dit gehele wereldbeeld te onverbrekelijk samen met een alles omvattend wijsgerig-theologisch stelsel, dat ook de religieuse behoeften bevredigde.

Het is niet zo gegaan. Het denken van Cusanus heeft in den overgangstijd waarover we in dit hoofdstuk spreken, weinig invloed uitgeoefend en toen de vernieuwing der wetenschap kwam en veel van zijn grondgedachten verwezenlijkte, geschiedde dat langs een heel anderen weg dan hij zich zou hebben voorgesteld en zonder dat van zijn werk gebruik werd gemaakt. Men betitelt hem wel graag als voorloper van Copernicus, maar, zoals bij de behandeling van diens werk (IV: 2-19) blijken zal, bestaat er tussen de kosmologische denkbeelden die Cusanus voor den geest zweefden en het astronomisch stelsel dat in *De Revolutionibus* ontwikkeld wordt, geen enkel ander punt van overeenstemming dan dat in beide (maar nog op geheel verschillende wijze) van een beweging van de aarde gesproken wordt. In Bruno zal hij een hartstochtelijk aanhanger en in zekeren zin ook een voortzetter van zijn werk vinden, maar evenmin als hij zelf heeft deze een noemenswaarden invloed op de ontwikkeling der natuurwetenschap uitgeoefend. Reeds is het dan zover, dat zij zich van de bespiegelende wijsbegeerte is begonnen te emanciperen en haar eigen wegen is gaan bewandelen en dat men de vraag moet gaan stellen of de philosophie nog wel een stuwende kracht in het bedrijf der wetenschap is. Dat is echter een vraag, die ons vaker zal bezighouden en waarop we zullen terugkomen wanneer we meer materiaal voor haar beantwoording verzameld zullen hebben (IV: 243).

13. Wij besluiten thans onze bespreking van Cusanus door nog iets te zeggen over een aantekening, die hij waarschijnlijk kort na de voltooiing van *De docta ignorantia* op een lege bladzijde van een kort geleden door hem aangekocht manuscript van astronomisch-astrologischen inhoud heeft neergeschreven[7]. Hierin worden namelijk enkele gedachten over de structuur van het astronomische wereldstelsel ontwikkeld, die men, bij gebreke aan een speciaal werk van zijn hand over dit onderwerp - hij schijnt er twee jaar voor zijn dood nog een geschreven te hebben, maar dit is verloren gegaan - als een samenvatting van zijn denkbeelden pleegt te beschouwen.

Het stuk begint met de opmerking, dat de achtste spheer geen vaste polen heeft, maar dat telkens andere punten als zodanig fungeren, zodat de sterren zich ten opzichte van de polen verplaatsen. Vervolgens wordt

gezegd, dat zij in een etmaal twee volledige omwentelingen om die polen uitvoert, terwijl de aarde er in dienzelfden tijd eenmaal om heen draait. Neemt men aan, dat beide wentelingen Westwaarts plaats hebben, dan komt dit, van de aarde uit gezien hierop neer, dat de achtste spheer dezelfde dagelijkse beweging heeft als in het stelsel van Ptolemaios; deze wordt dus niet als bij Oresme en Copernicus verklaard door een Oost-waartse aardrotatie ten opzichte van een onbeweeglijken sterrenhemel; het motief, hemel en aarde beide te laten draaien, ligt natuurlijk in de overweging, dat niets in het heelal in rust mag verkeren. De zon draait in een etmaal iets minder dan tweemaal om dezelfde as. Het is blijkbaar de bedoeling, dat haar jaarlijkse beweging ten opzichte van de vaste sterren, als bij Alpetragius (II: 143) het gevolg is niet van een eigen beweging Oostwaarts, maar van een achterblijven bij de Westwaartse hemeldraaiing. Wanneer het hierbij bleef, zou de jaarlijkse beweging echter langs den aequator moeten plaats hebben. Er worden dan ook nog meer bewegingen ondersteld: de achtste spheer en de aarde draaien beide in een etmaal iets minder dan eenmaal om twee polen in het vlak van den aequator en de zon, die circa 23^{o} van een van die polen afstaat, wordt in deze beweging meegesleept. Zij blijft per etmaal 1/365 deel van den cirkelomtrek achter, waardoor per jaar een vertraging van een dag optreedt; door dit achterblijven ontstaat de beweging langs de ecliptica.

Het is moeilijk aan dit gedeelte van de aantekening een zin te verbinden. Wanneer hemel en aarde gelijktijdig met dezelfde hoeksnelheid om dezelfde as wentelen, merkt de aardbewoner daarvan niets; de onderstelling van de wenteling om polen in den aequator dient dus blijkbaar alleen om de beweging van de zon in de ecliptica te verklaren, maar het is niet in te zien, hoe dat doel bereikt kan worden, daar de polen van de ecliptica niet op den aequator liggen.

Er is aan deze aantekening reeds heel veel aandacht besteed, wellicht te veel. Het is niet onmogelijk, dat men haar betekenis overschat en in ieder geval onbillijk tegenover Cusanus, zijn astronomische denkbeelden uit deze vluchtige, toevallig bewaard gebleven, lang voor het einde van zijn leven neergeschreven notitie te willen afleiden. De ijver in het ontcijferen van kladpapieren kan ook te ver gaan.

Het is ook denkbaar, dat hij nooit tot een uitgewerkt stelsel gekomen is. In dit verband geeft een opmerking in *De Venatione Sapientiae* (Over het najagen van de wijsheid) te denken, waarin hij zegt, dat de aarde in de buurt van het wereldcentrum staat (er wordt niet gezegd, wat het centrum van een oneindige wereldruimte is) en noch zijdelings, noch omhoog of omlaag (d.w.z. naar een der polen toe) uitwijkt[8]. Dat zij zich als andere sterren beweegt, heeft dus blijkbaar alleen betrekking op de dagelijkse beweging om de hemelas; van een jaarlijkse beweging om de zon is nergens enige sprake.

C. De philosophie der Renaissance[9]

14. Over de betekenis die de Renaissancephilosophie voor het ontstaan van de klassieke natuurwetenschap heeft bezeten, is een voorstelling in omloop, die ongetwijfeld de bekoring van den eenvoud heeft, maar die juist daardoor enig wantrouwen wel verdient. Zij beoordeelt namelijk dat wat men het nuttig effect van een denker voor de vernieuwing van de wetenschap zou kunnen noemen naar de mate van zijn vijandigheid tegenover Aristoteles. In de Noord-Italiaanse universiteiten, waar men in de vijftiende en zestiende eeuw met onverstoorbaren ijver voortging, de werken van den Stagiriet te bestuderen en uit te leggen, ziet zij het bolwerk van een achterlijk conservatisme; van geschriften echter die in hun titel aankondigen, dat er nieuwe wegen zullen worden ingeslagen, zoals de *Nova de Universo Philosophia* van Patrizzi en het *De Rerum Natura iuxta propria principia* van Telesio, of waarin protesten worden uitgesproken tegen het vertrouwen op autoriteit in het algemeen en op het gezag van Aristoteles in het bijzonder, neemt zij geredelijk aan, dat de daarin gevolgde nieuwe koers ook de juiste was.

Bij nadere beschouwing blijkt het alles echter niet zo eenvoudig te zijn. Vooreerst moet men niet vergeten, dat het Aristotelisme, zoals het in de vijftiende en zestiende eeuw te Padua en aan de andere universiteiten van Noord-Italië onderwezen werd, iets anders is dan het scholastisch peripatetisme, dat van het begin van de dertiende eeuw af te Parijs beoefend was. Daar had onder den krachtigen invloed van Thomas van Aquino steeds het verband met de Christelijke geloofsleer op den voorgrond gestaan en had de lectuur van de Aristotelische geschriften in de Faculteit der Artes gediend als een propaedeuse voor de studie in de theologie. Dat had er toe geleid, dat alle Averroistische stromingen iets suspects hadden gehad: de leer van de eeuwigheid van de wereld en de beweging was in strijd met het scheppingsdogma, die van de eenheid van het intellect met het geloof in een persoonlijke onsterfelijkheid, en dat men aan den Commentator een groot gezag bleef toekennen in vragen die de interpretatie van Aristoteles betroffen, hield niet in, dat men hem uit dogmatisch oogpunt ongevaarlijk achtte.

In Padua echter geeft het Averroisme den toon aan en voorzover het bestrijding ondervindt, komt deze niet zozeer van Thomistische zijde als van die der Alexandristen, volgelingen van den Grieksen Aristoteles-commentator Alexander van Aphrodisias, die naar hun mening den echten Aristoteles, niet den neo-Platonisch gekleurden van Averroës of den verchristelijkten van Thomas had leren kennen. Beide richtingen liepen natuurlijk het gevaar van conflicten met de Christelijke theologie; men vrijwaarde zich daar echter tegen door de uit Thomistisch oogpunt verwerpelijke leer van de dubbele waarheid aan te hangen en bij iedere conclusie, die met de geloofsleer in strijd kon schijnen te zijn, te ver-

zekeren, dat men haar alleen als philosoof uitspraak, maar verder natuurlijk als Christen onvoorwaardelijk aanvaardde wat de Kerk te geloven voorhield.

Daar kwam nog bij, dat de voornaamste faculteit te Padua niet, zoals te Parijs, de theologische was, maar de medische en dat daardoor de propaedeuse in de Facultas Artium hier ook een ander meer naturalistisch karakter droeg; men legde den nadruk op de natuurwetenschappelijke geschriften van den Stagiriet, die in verband met de medische problemen aan de hand van Arabische commentaren werden bestudeerd. De Aristoteles-beoefening was hier dus als het ware gesaeculariseerd en bovendien kon zij, dank zij de activiteit der Humanisten, weldra ook uit zuiverder bronnen putten dan ooit in Europa ter beschikking hadden gestaan.

Overweegt men ten slotte nog de reeds vaker gemaakte opmerking, dat in de Griekse natuurwetenschap Aristoteles de voorvechter van het zelfstandig zintuiglijk onderzoek en van het verzamelen van ervaringsmateriaal is en dat de gehele wereld der natuurverschijnselen voor hem een veel hogeren graad van realiteit heeft dan voor zijn leermeester Plato, dan blijkt de mogelijkheid, dat de Italiaanse universiteiten het hunne hebben kunnen bijdragen tot het ontstaan van de klassieke natuurwetenschap niet bij voorbaat uitgesloten te zijn.

15. Dat het hier om meer dan een mogelijkheid gaat, dat het Averroisme en het Alexandrisme werkelijk positieve bijdragen tot de vernieuwing van het denken hebben geleverd, is de inhoud van een these, die enkele jaren geleden door P.O. Kristeller en J.H. Randall Jr. is opgesteld. Zij geven toe, dat onze kennis van de individuele denkers die in de vijftiende en zestiende eeuw deze philosophische stromingen hebben geconstitueerd, nog te gering is om er reeds een gedetailleerd beeld van te geven, maar zij menen niettemin, het bestaan van een georganiseerde en cumulatief groeiende ideeënwereld te mogen aannemen, die in de grootste bijdrage die Italië tot de vernieuwing der natuurwetenschap zou leveren, het werk van den Paduaansen hoogleraar Galilei, haar bekroning en niet, zoals de gangbare opvatting luidt, haar ontkenning en definitieve verwerping zou hebben gevonden.

16. Als concreet voorbeeld van een belangrijke natuurwetenschappelijke kwestie die in de Paduaanse school behandeld is, wordt o.m. de strijd genoemd die in de vijftiende eeuw naar aanleiding van de *Calculationes* van Suisset (II: 124) tussen Biagio Pelacani (Blaise van Parma) en Gaetano van Thiene gevoerd is over de vraag, of het eerste accidens van de substantie de quantiteit dan wel de qualiteit is; in moderne termen getransformeerd, of het in de natuurwetenschap meer gaat om het beschrijven van het verloop der verschijnselen in quantitatieve relaties of om het verklaren ervan met behulp van qualiteiten, vormen en krachten. Dit meningsverschil zou zich tot aan het eind van de zestiende eeuw hebben gehandhaafd en toen nog eens tussen Galilei en Cremonini uitgevochten zijn.

Als tweede onderwerp van langdurige discussie, die uiteindelijk in het werk van Zabarella een heldere samenvatting kon vinden, wordt de tweeledige methode van natuurwetenschappelijk onderzoek genoemd, die bij Galilei als *metodo risolutivo* (methode der analyse) en *metodo compositivo* (methode der synthese) wordt aangeduid en waarvan het eerste lid bestaat in het gissend opsporen van oorzaken bij verschijnselen, het tweede in het bewijs, dat uit die oorzaken inderdaad die verschijnselen voortvloeien. Wat met dit onderscheid precies bedoeld wordt, kunnen we het beste met voorbeelden uit de klassieke natuurwetenschap verduidelijken: men neemt waar, dat een gas in een afgesloten ruimte een spanning uitoefent en vraagt zich af, hoe dit zou kunnen komen; de resolutio leidt tot het overwegen van verschillende mogelijkheden: afstotende krachten door de delen van het gas op elkaar uitgeoefend, botsing van bewegende deeltjes tegen den wand enz. In de compositio moet nu uit zulk een onderstelling het feit van de spanning en de wetten waaraan ze gehoorzaamt, deductief worden afgeleid. Of: men komt door resolutio op het denkbeeld, dat de verschillende hydrostatische verschijnselen (wet der communicerende vaten, de hydrostatische paradox, de wet van Archimedes) alle het gevolg zouden kunnen zijn van de grondeigenschap, dat een op een vloeistof uitgeoefende druk zich in alle richtingen gelijkmatig voortplant, en staat nu omgekeerd in de compositio voor de taak, uit dit grondbeginsel al die verschijnselen af te leiden.

17. Zabarella merkt hierbij op, dat de resolutieve methode nog in verschillende graden van praecisie kan worden toegepast: men kan zijn toevlucht nemen tot zeer algemene ver weg liggende verklaringsbeginselen als de prima materia of den eersten beweger (een voorbeeld uit onzen tijd: ‘het gaat electrisch’), maar men kan zich ook beroepen op meer nabije oorzaken, waarmee we door ervaring vertrouwd zijn geraakt, ook al blijft hun diepste wezen ons onbekend (voorbeeld: dat deze galvanometer een uitslag vertoont, komt doordat dit tussen twee magneetpolen opgehangen draadklosje door een electrischen stroom doorlopen wordt). Bovendien moet ondersteld worden, dat het onderzochte gebied een intelligibele structuur bezit, waarvan de waargenomen verschijnselen uitvloeisels zijn. Is aan die onderstelling voldaan, dan is het niet nodig, alle speciale gevallen te onderzoeken; wanneer een zeker aantal verschijnselen is geobserveerd, zijn we overtuigd van de natuurnoodzakelijkheid van het opgemerkte verband en gaan dan ineens over tot de algemene formulering, vertrouwend, dat deze ook voor de niet-waargenomen gevallen zal gelden.

Reeds eerder had de Averroist Agostino Nifo in zijn commentaar op de *Physica* van Aristoteles er den nadruk op gelegd, dat men nooit volkomen zekerheid kan verkrijgen, dat wat men als oorzaak van een verschijnsel beschouwt, er ook inderdaad de oorzaak van is, ook al gelukt het, volgens de compositieve methode het verschijnsel uit die oorzaak af te leiden. Dat het verschijnsel bestaat, weten we met zekerheid door de zinlijke

waarneming; dat het zo veroorzaakt wordt als we menen, blijft altijd een meer of minder waarschijnlijke gissing.

In de beschouwingen over resolutio en compositio wordt ook de voor het natuurwetenschappelijk denken essentiële onderscheiding gemaakt tussen wat in de Aristotelische logica *demonstratio quia* en *demonstratio propter quid* heet (*quia* geeft hier het Griekse το ὅτι, het 'dat' weer, *propter quid* is de vertaling van το διότι, het 'doordat'). De eerste redeneert van gevolg naar oorzaak (voorbeeld: de luchtdruk is toegenomen, *omdat* de barometer gestegen is, d.w.z. we weten het, omdat de barometer hoger is komen te staan); de tweede van oorzaak naar gevolg (voorbeeld: de barometer is opgelopen, *doordat* de luchtdruk groter is geworden).

18. Het geheel van al deze logische en methodologische overwegingen, die reeds van het begin van de veertiende eeuw af de Paduaanse school hebben beziggehouden (men kan ze vervolgen van den *Conciliator* van Pietro d'Abano af langs Jacopo de Forli, Hugo van Siena, Paulus Venetus, Agostino Nifo, Achillini en Zimara tot *De Natura Logicae* en *De Methodis* van Zabarella) vormt een volledige theorie van de empirisch-inductieve methode van natuuronderzoek, die een welkome aanvulling en verduidelijking geeft van wat Aristoteles in de *Tweede Analytica* over de structuur van een bewijzende wetenschap geleerd had. Zijn uiteenzettingen wekken den indruk, als zouden de door resolutio opgespoorde verklaringsbeginselen, waarvan in de deductieve compositio als van axiomata wordt uitgegaan, hoewel uit zintuiglijke ervaring verkregen, achteraf toch als evident kunnen en moeten worden ingezien (I: 49). De Paduanen erkennen terecht de noodzakelijkheid daarvan niet en zij stellen daardoor de wezenlijke methodische tegenstelling tussen natuurwetenschap en wiskunde duidelijker in het licht dan de Stagiriet zelf gedaan had.

In hun uiteenzettingen wordt dus inderdaad de methode waarvan de klassieke natuurwetenschap zich ter verklaring van natuurverschijnselen bewust zal bedienen (en die natuurlijk, zonder dat men zich rekenschap had gegeven van wat men deed, overal en altijd al toegepast was, waar men een werkelijke verklaring van een waargenomen verschijnsel gegeven had) volkomen helder geformuleerd; daardoor is een der twee pijlers waarop haar gebouw zou komen te rusten, gereed gekomen; tot de voltooiing van de andere, de mathematische behandelingswijze, echter schijnt de school van Padua geen andere bijdrage te hebben geleverd dan dat zij de herinnering aan de Oxfordse Calculationes en de graphieken van Oresme in stand heeft helpen houden. In Zabarella's definitieve formulering van de methode der natuurwetenschap ontbreekt althans iedere aanduiding, dat de door resolutio op te sporen verklaringsbeginselen zich moeten lenen voor mathematische uitdrukking; het is in dit verband typerend, dat hij zijn voorbeelden grotendeels aan de biologische geschriften van Aristoteles ontleent.

En verder: het formuleren van methodische beginselen voor de be-

oefening der natuurwetenschap is één ding, maar die beginselen op de juiste wijze in praktijk brengen een ander. Nog heerste de Aristotelische physica, waarin een overhaaste resolutio tot ondeugdelijke grondslagen geleid had, oppermachtig over het wetenschappelijk denken. De moeilijke taak die te vervullen was, bestond daarin, dat men, met handhaving van haar methode, die grondslagen moest verbeteren. Daartoe heeft de school van Padua echter niet bijgedragen; zoals alle terreinen der natuurwetenschap was ook de physica in afwachting van het genie dat haar radicaal zou vernieuwen.

19. Terwijl dus enerzijds de Aristotelici in de zestiende eeuw niet geheel in gebreke zijn gebleven, hun aandeel in de voorbereiding van de klassieke natuurwetenschap te leveren, is anderzijds het werk van de philosophen die hun kracht zochten in een kritische houding tegenover de traditionele methode, voor die voorbereiding niet onverdeeld bevorderlijk geweest. In twee opzichten natuurlijk wel: hun kritiek op de praktijk van de Aristotelische wetenschapsbeoefening van hun dagen was in de meeste gevallen maar al te gegrond en verliest ook niets van haar bestaansrecht, nu wij achteraf in de methodische beginselen waarop de peripatetische physica gebaseerd was, een kern van juistheid kunnen ontwaren. En vervolgens beduidde het voeren van oppositie tegen Aristoteles tevens het veld winnen van het Platonisch-Pythagoraeïsch element in het denken en daardoor een onmisbare versterking van de mathematische grondslagen waaraan de natuurwetenschap behoefte had.

Echter was de macht die het Aristotelisme ook over hen had, die er zich bewust vijandig tegenover stelden, zo aanzienlijk, dat de vernieuwing die zij zich voorstelden te brengen, toch nog geheel binnen de spheer die zij meenden te ontvluchten, bevangen bleef. En de wiskundige beschouwingswijze die aan het Platonisch-Pythagoraeïsme eigen was, bracht onvermijdelijk als schaduwzijde met zich mee, dat de getallenmystiek een sterkere heerschappij over de geesten kreeg dan voor het ontstaan van een goed gefundeerde natuurwetenschap wel wenselijk was.

20. Een voorbeeld van het eerste levert het werk van Telesio, dien men op grond van het feit, dat hij zijn stelsel van natuurphilosophie op eigen nieuwe principes bouwde, zelfs wel onder de grondleggers van de nieuwe natuurwetenschap heeft willen rekenen. Die nieuwe principes zijn echter de warmte als hemelse en de koude als aardse grondqualiteit, die door hun strijd de materie hebben voortgebracht en die nu verder de natuurverschijnselen veroorzaken doordat de ene in die materie uitzetting en verdunning, de andere inkrimping en verdichting teweegbrengt.

Men kan echter moeilijk volhouden, dat deze, blijkbaar door het tweede deel van het leerdicht van Parmenides geïnspireerde, theorie zoveel meer vooruitzichten voor de natuurwetenschap bood dan de Aristotelische, die inplaats van met één met twee paren tegengestelde qualiteiten gewerkt had. Men kan bij de Renaissancephilosophen vaker de neiging opmerken

om over Aristoteles heen op voor-Socratische denkbeelden terug te grijpen; maar deze bezaten nu eenmaal niet alle zo grote mogelijkheden van ontwikkeling als aan het voorlopig nog in vergetelheid sluimerende atomisme eigen zouden blijken te zijn. Telesio werkt zijn stelsel verder uit in den zin van een Stoicijns monisme en vormt daardoor een schakel in de ontwikkelingsketen van het pantheisme[10]; maar dat is voor de geschiedenis der wijsbegeerte van meer belang dan voor die der natuurwetenschap.

En wat het tweede punt aangaat: getallenmystiek en de daarmee verwante gebieden magie, astrologie en theorieën over het parallelisme tussen den makrokosmos, die het heelal en den mikrokosmos, die de mens is, hebben het denken der Renaissance altijd sterk vervuld. Nu behoeft de natuurwetenschap daarvan niet noodzakelijk nadeel te ondervinden en ze kan er zelfs, zoals het voorbeeld van Kepler (IV: 25-59) ons leren zel, in bijzondere omstandigheden, namelijk wanneer de inspiratie die er van uitgaat door een sterke geestestucht in toom wordt gehouden, wel bij varen. Echter heeft deze combinatie zich bij geen van de zestiende-eeuwse philosophen voorgedaan; en waar zij ontbreekt, leidt een naar mystiek en occultisme neigende geesteshouding wellicht wel tot persoonlijke bevrediging, maar aan den bloei der wetenschap komt zij niet ten goede.

21. Wat wij boven over de nauwe verwantschap tussen getallenmystiek en astrologie opmerkten, wordt schijnbaar weersproken door het feit, dat een van de meest typische Renaissancephilosophen tegelijkertijd een vurig adept van magische en kaballistische stromingen geweest is èn een heftig bestrijder van de astrologie; het is Giovanni Pico della Mirandola, die zelf eenenzeventig van de negenhonderd stellingen die hij te Parijs had willen verdedigen, als kaballistische conclusies betitelt en ook overigens in alle opzichten juist die geestesrichtingen vertegenwoordigt die de astrologie altijd hebben gevoed, maar die er toch in zijn *Disputationes contra Astrologos* de meest principiële bestrijding van geeft die zij nog ooit had ondervonden.

De kritiek die hij er op levert, treft ten dele ook de Aristotelische physica: hij komt namelijk op tegen de gedachte, dat van iets, dat slechts ideëel-mathematisch bepaald is, een concreet-physische werking zou kunnen uitgaan; dat onderstelt de astrologie namelijk wanneer zij aan het verkeren van een planeet in een bepaald huis of aan den hoek dien de gezichtslijnen van de aarde naar twee planeten getrokken met elkaar maken, een invloed op aardse gebeurtenissen toeschrijft; maar Aristoteles doet in wezen niets anders in zijn theorie van de natuurlijke plaatsen der elementen.

Pico kan ook niet het gewoonlijk gretig aangegrepen compromis billijken, dat de hemelverschijnselen de aardse gebeurtenissen slechts zouden aankondigen (*significare*), maar niet veroorzaken. *Coelum non potest eius rei signum esse cuius causa non est*[11] (De hemel kan niet het teken van iets zijn waarvan hij de oorzaak niet is).

Waarschijnlijk zal men met Cassirer de verklaring van Pico's tweeslachtige houding moeten zoeken in het bij alle Renaissancedenkers aanwezige, maar bij hem bijzonder sterk ontwikkelde gevoel van menselijke eigenwaarde; hij kan de gedachte niet verdragen, dat zijn leven, dat hij uit eigen kracht meent te voeren en waarvoor hij dan ook de volle verantwoordelijkheid aanvaardt, door welke hogere macht ook gedetermineerd zou zijn. *Sors animae filia*[12]: het lot is de dochter van de ziel; niet kosmische krachten, maar eigen vermogens bepalen den levensloop.

22. Vergeleken met de volstrekt afwijzende houding, die een naar het phantastische neigende geest als Pico tegenover de astrologie aanneemt, verbaast de principiële aanvaarding, die haar bij een rationalistisch en kritisch denker als Pietro Pomponazzi te beurt valt[13]. Met alle voorbehoud wat de practische toepassing van de beginselen waarop ze steunt betreft, acht hij die beginselen zelf boven allen twijfel verheven. Hij is overtuigd van het bestaan van een algemene, voor geen doorbreking door goddelijke of daemonische machten vatbare natuurcausaliteit, die door de hemellichamen wordt bepaald. Wanneer zij dit niet deden, zou hun functie in de wereld geheel onbegrijpelijk zijn. Zijn overtuiging uitbreidend op het geestelijk leven, komt hij tot een astrologische opvatting van de geschiedenis in het algemeen en van die der godsdiensten in het bijzonder.

23. Wij hebben ons in het bovenstaande uitsluitend beziggehouden met Italiaanse denkers in het tijdperk der Renaissance. Echter kan men buiten Italië verwante geestesstromingen aantreffen. Op het punt van verzet tegen de heerschappij van het Aristotelisme wordt alles wat hier gedaan was zelfs verre overtroffen door den Fransen wiskundige en philosoof Petrus Ramus, die in 1536 zijn mening over den Stagiriet samenvat in de lapidaire verklaring, dat alles wat Aristoteles gezegd heeft, een verzinsel is[14]. Daar de door Ramus bepleite en ten dele ook verwerkelijkte wetenschappelijke vernieuwingen voornamelijk op het terrein van de logica en de dialectica liggen, interesseert hij ons hier meer om de algemene strekking van zijn optreden dan om de details van zijn denken. Twee dingen verdienen dan echter vermelding: ten eerste dat hij in zijn fellen aanval op de overgeleverde schoolwetenschap en in het daaruit voortvloeiend streven naar hervorming van het onderwijs ook de Griekse wiskunde betrekt en wel in den vorm van een overdreven en in vele opzichten onbillijke kritiek op Euclides; hij verwijt hem grote methodische fouten en acht sommige delen van zijn werk, met name de exacte behandeling van irrationele grootheden in het tiende boek van de *Elementen*, zelfs volkomen nutteloos; het gewone rekenen van den koopman op de markt stelt hij hoger dan de in zijn oog overbodig strenge redeneringen van de meetkunde en van de in zijn tijd tot ontwikkeling komende algebra verwacht hij meer heil dan van het navolgen van de Griekse wiskunde[15]. Ten tweede is van belang, dat hij een beoefening van de astronomie voorstaat, die vrij zou zijn van hypothesen[16], waarmee hij wel niets anders

bedoeld kan hebben, dan dat er niet langer pogingen in het werk zouden mogen worden gesteld, een kinematisch wereldbeeld op te stellen, dat de verschijnselen kan redden. Hij is dus wel aan alle kanten in oppositie tegen de antieke wetenschap, maar hij slaagt er lang niet in, op alle punten die hij afkeurt, verbetering te brengen.

24. Niet minder scherp is de kritiek op de Aristotelische wetenschapsbeoefening, die de Spanjaard Ludovico Vives levert[17]; wanneer hij echter een grotere plaats opeist voor de zelfstandige waarneming, is het weer niet zozeer de oorspronkelijke Aristoteles dien hij bestrijdt, als het beeld dat een in verval geraakte Scholastiek van hem gevormd had. Een geluid dat verwant is aan dat van Cusanus en dat vooral in Engeland (waar Vives lang gewoond heeft) weerklank zou vinden, vernemen we in zijn beroep op de geleerden, hun traditionele houding van geringschatting van den handenarbeid te laten varen en studie te gaan maken van ambacht en techniek. Men moet zich niet schamen, binnen te gaan in winkels en werkplaatsen en daar de mensen van de praktijk te laten vertellen van hun ervaringen; van het systematisch verzamelen van al het zo doende te verkrijgen empirisch materiaal verwacht hij groot nut voor de natuurwetenschap.

Eindnoten:

1 Duhem (2) XIII (1908) 275.
2 Cusanus, Hoffmann E., Rotta, Uebinger.
3 Cusanus (1) I 21.
4 Cusanus (3) 6.
5 Cusanus (3) 120.
6 Pascal, *Pensées* 206. (1) 428.
7 Klibansky, Bijlage bij Hoffmann E. 41-45.
8 Cusanus, *De Venatione Sapientiae*, c. 28. Uebinger CVII 78.
9 Kristeller-Randall, Randall (2), Maier (4).
10 Dilthey 289.
11 Pico della Mirandola, *Disputatio contra Astrologos*, IV, c. 12. Cassirer (2) 121-126.
12 ibidem IV, c. 4.
13 Cassirer (2) 108 vlg.
14 Petrus Ramus. *Omina quae ab Aristotele dicta essent, commentitia esse*. Cantor II 546. Graves 26.
15 Petrus Ramus, *Prooemium mathematicum* (1567), herdrukt als de eerste drie boeken van *Scholae mathematicae* (Basel 1569). Geciteerd en bestreden door Kepler, *Harmonice Mundi* I (2) VI 16.
16 Petrus Ramus, *Scholae mathematicae* II 50, bestreden door Kepler, *Astronomia Nova*, keerzijde van het titelblad. Kepler (2) III. (3).
17 Dilthey 423. Houghton (1) 33.

II. De techniek als bron van natuurwetenschap

25. Het ziet er niet naar uit, dat veel scholastici, humanisten en philosophen in de zestiende eeuw zich den raad van Vives ter harte hebben genomen, Dat neemt niet weg, dat hij gelijk had, toen hij aandacht vroeg voor de practische ervaring die ambachtslieden en andere technici in hun dagelijksen omgang van de materie en het geregeld hanteren van werktuigen over de natuur en haar wetten kunnen opdoen. Die ervaring is echter ook wel zonder belangstelling van de zijde der officiële wetenschap tot haar recht gekomen. Er is zelfs alle aanleiding om te vermoeden, dat in de periode van voorbereiding tot de klassieke natuurwetenschap de in wisselwerking met ingrijpende veranderingen in de maatschappelijke orde snel tot ontwikkeling komende techniek een macht geweest is waarvan men de betekenis vooral niet geringer moet aanslaan dan men het den invloed van het theoretisch denken doet.

Men kan natuurlijk dadelijk de vraag stellen, of in deze wisselwerking de veranderingen in de maatschappelijke omstandigheden niet steeds primair zijn geweest, of zij het dus in laatste instantie niet zijn, die het ontstaan der natuurwetenschap hebben bewerkt en of dus de verklaring van haar wording niet meer een sociologisch probleem is dan een interne aangelegenheid van de wetenschapsgeschiedenis. Waarop te antwoorden valt, dat in dat geval een beschouwing van de secondaire oorzaak, die door de ontwikkeling der techniek gevormd wordt, toch altijd haar bestaansrecht en waarde zal behouden en dat men intussen met belangstelling kan afwachten, wat de sociologie over de primaire oorzaken aan het licht zal brengen. Tot nu toe is dat nog niet zo heel veel, zoals in verband met de grote uitbreiding en complicatie, die het probleem dan dadelijk verkrijgt, begrijpelijk is, en onder dat weinige komt het een en ander voor, dat niet hoopvol stemt over de te verwachten resultaten.

26. Zo heeft F. Borkenau[18] het ontstaan der mechanistische natuurwetenschap - we nemen den term over, hoewel we nog steeds niet hebben vastgesteld wat hij eigenlijk inhoudt - trachten te verklaren als een gevolg van de vervanging van het handwerk-stelsel der Middeleeuwen door dat van de zogenaamde manufactuur, een productiewijze waarbij verschillende werkers onder één dak en één leiding tot gemeenschappelijken arbeid werden samengebracht. De daarbij toegepaste verdeling van het werk in een aantal zonder veel oefening te verrichten en onderling als gelijkwaardig te beschouwen enkelvoudige handelingen zou hebben geleid tot het begrip van den abstracten homogenen socialen arbeid en het rekenen met dergelijke abstracte arbeidseenheden zou aanleiding hebben gegeven, hetzelfde denkschema nu ook op de natuur te gaan toepassen. En volgens Simmel zou het de nieuwe geldoeconomie van het vroege kapitalisme zijn geweest, die het ideaal van een mathematisch exacte interpretatie van den kosmos in het leven zou hebben geroepen[19].

De geschiedenis der natuurwetenschap kan zich, naar het ons voorkomt, door dergelijke constructies niet bepaald verrijkt voelen. Zelfs al zouden de beschouwingen van Borkenau over de manufactuur voor de geschiedenis der oeconomie juist zijn - hetgeen betwist wordt[20] - dan zou toch nog het verband met de ontwikkeling der natuurwetenschap zo lang als volkomen uit de lucht gegrepen moeten worden beschouwd als het niet gelukt, in die ontwikkeling trekken aan te wijzen, waarin iets van de geponeerde causale relatie merkbaar is, gevallen waarin werkelijk blijkt, dat een natuurwetenschappelijke gedachtengang door de onderstelde oeconomische denkwijze is geïnspireerd. Met het vervullen van die taak schijnt echter nog geen begin te zijn gemaakt. Voorts lijden beschouwingen die het ontstaan van de mathematische natuurwetenschap willen verklaren uit de maatschappelijke invloeden van het vroege kapitalisme der Renaissance, altijd aan de fout, dat ze het voorstellen, alsof er voordien van een streven naar een mathematische interpretatie van den kosmos nooit sprake was geweest. De groeiende kapitalistische samenlevingsvorm moge iets geheel nieuws zijn ten opzichte van het feodalisme der Middeleeuwen, de mathematische natuurwetenschap bestond reeds van de Oudheid af en zo ze al op sommige punten door het anders gerichte streven der Scholastiek op den achtergrond was gedrongen, dan was toch het kennisideaal dat zij vertegenwoordigde, in de astronomie steeds zo onverzwakt blijven voortleven, dat haar onafhankelijkheid van de maatschappelijke situatie in het oog springt. Wanneer men de geldoeconomie met het ontstaan van het Italiaans of dubbel boekhouden of met de ontwikkeling van het handelsrekenen in verband wil brengen, is dat een alleszins aannemelijke constructie; dat de natuurwetenschap er ook door geinspireerd zou zijn, lijkt voorlopig een niet voldoend gefundeerde onderstelling.

Wij laten dus in het volgende de mogelijke sociologische achtergronden van haar ontwikkeling - ook de op soliedere gronden berustende, die o.m. door E. Zilsel[21] in het licht zijn gesteld - buiten beschouwing en richten onze aandacht alleen op de betekenis die de groei der techniek, hoe deze dan ook zelf veroorzaakt moge zijn, voor haar heeft bezeten.

27. In de vijftiende en zestiende eeuw ziet men in verschillende landen een klasse van practici ontstaan die, voorzover ze zich niet zelf met vragen van natuurwetenschappelijken aard bezig hielden, door den aard van hun werk die vragen bij anderen hebben doen rijzen. Zij bevat vooreerst de artist-ingenieurs, schilders, beeldhouwers en architecten, die echter tevens kanalen aanleggen, sluizen bouwen, vestingwerken ontwerpen en doen uitvoeren en nieuwe werktuigen uitvinden. In Italië kan men mannen als Brunelleschi, Ghiberti, Alberti, Leonardo da Vinci, Benvenuto Cellini als voorbeelden noemen, in Duitsland Albrecht Dürer. Bij hen sluit de klasse der instrumentmakers aan, die voor zeevaart, geodaesie, astronomie en muziek werkzaam zijn, voorts de klokkenmakers, de karto-

graphen en de militaire technici. Hun werk is voor het verschijnsel dat men Renaissance noemt, even essentieel en onmisbaar als dat van de humanistische letterkundigen en de beeldende kunstenaars. Het ging immers, naar de formulering van Burckhardt, om Wiederentdeckung der Welt und des Menschen; het eerste deel van die omschrijving zinspeelt o.m. op ontdekkingsreizen, op verlevendigd astronomisch onderzoek, op een dieper doordringen in de wonderen der levende natuur en van de dode stof; daarvoor waren echter instrumentele hulpmiddelen een noodzakelijk vereiste en allen die nautische en astronomische werktuigen samenstelden en kaarten tekenden, weldra ook de uitvinders van kijkers en microscopen, hebben er toe bijgedragen.

Veel van de kennis en de vaardigheid die daarbij ten toon werd gespreid, was natuurlijk nog zuiver empirisch, maar het kon niet uitblijven, of het voortdurend hanteren van de weerbarstige materie moest de causa-liteitsbehoefte prikkelen en een streven naar een meer rationele werkwijze in het leven roepen. Het wordt daardoor begrijpelijk, dat de eerste tak der natuurwetenschap waarin zich de vernieuwing zou voltrekken, de mechanica (voorlopig nog in den zin van werktuigkunde) geweest is. De empirische kennis behoefde hier niet opzettelijk gezocht te worden, maar bood zich bij de uitoefening van technische beroepen vanzelf aan; het wachten was slechts op de theoretische bezinning; deze werd echter in de hand gewerkt, doordat er geen enkel gebied der physica is dat zo dringendom mathematische behandeling vraagt en er zich zo ongedwongen toe leent. Het ene essentiële element der klassieke physica, de wiskundige behandeling, kwam hier dus even spontaan tot zijn recht als het andere, de empirische grondslag.

Tot het inzicht in de onmisbaarheid van de wiskunde moest behalve de werktuigkunde ook de hoge technische eisen stellende burgerlijke en militaire architectuur bijdragen, die in Italië - het land waar de ontwikkeling die ons thans bezighoudt, haar oorsprong heeft genomen en waar zij het krachtigst heeft doorgewerkt - in zo hoge mate beslag legde op de werkkracht van de artisten van het quattro- en cinquecento. En deze functie der wiskunde, voor een groot deel bestaande uit metingen van afstanden en hoeken, en berekeningen van lengten, oppervlakten en inhouden, kortom alles wat Stevin later onder den naam van Meetdaad zal samenvatten, wordt in vruchtbaarheid geëvenaard door haar toepassing in de artistieke productie. Zij stelt hier in staat, de perspectief van een op intuïtie of imitatie berustende manuele vaardigheid te veredelen tot een op redelijk overleg berustende kunst. En zij verschaft tevens een wetenschappelijken grondslag voor de begrippen proportie, symmetrie en harmonie, die in het schilderen, beeldhouwen en bouwen juist in deze tijden zulk een belangrijke plaats gaan bekleden.

28. Men kan dan ook in de vijftiende eeuw in Italië een groeiend besef van de betekenis der wiskunde als grondslag of essentieel hulpmiddel

voor alle technische en artistieke werkzaamheid vaststellen, dat in de zestiende eeuw blijft aanhouden en dat in beide tot belangrijke geschriften aanleiding geeft. In het begin van het Quattrocento ingeleid door Brunelleschi komt het tot uiting in werken als *De Pictura* en *De arte aedificatoria* van Leon Battista Alberti, *De Prospectiva pingendi* van Piero de' Franceschi, het *Trattato dell' Architectura* van Francesco di Giorgi Martini, de wiskundige *Summa* van Luca Pacioli en zijn *Divina Proportione*, waaraan verscheidene werken over practische geometrie van minder bekende auteurs toe te voegen zouden zijn.

Het werk *Divina Proportione*, dat aan de verdeling in uiterste en middelste reden (*sectio divina*, later ook *sectio aurea* of gulden snede genoemd) en aan de daarop ten dele berustende constructie van de regelmatige veelvlakken gewijd is, vormt tevens een symptoom van een zekere convergentie tussen de activiteit van de humanisten en die der artefici (een woord, dat zowel den beeldenden kunstenaar als den handwerksman aanduidt en dat dus een licht werpt op de sociale positie van den eerste). Over het algemeen liggen beide kringen geheel buiten elkaar. Op Leon Battista Alberti na komen alle artisten van het Quattrocento uit het volk voort, ze gaan vroeg bij een erkenden meester in de leer en bekwamen zich daar tot verbazingwekkende veelzijdigheid in kunst en techniek, maar ze blijven *senza lettere*, d.w.z. verstoken van de klassieke vorming, die in het oog van den waren humanist het enige echte kenmerk van geestescultuur is. Nu vinden zij elkaar echter in een gemeenschappelijk enthousiasme voor de antieke leer van proportie en harmonie. Marsilio Ficino en zijn Florentijnse Academie, die rechtstreeks uit *Timaios* putten, komen tot haar van den arithmetischen kant, langs getallenmystiek en muziekleer; voor hen is de harmonie de schone proportie die het geestesoog schouwt of het luisterend oor hoort. De beeldende kunstenaars naderen tot haar langs den geometrischen weg; met Pacioli het oog een edeler orgaan achtend dan het oor, zoeken zij de schoonheid in de juiste proportie, de *concinnitas*, die men lijfelijk zien kan.

De overeenstemming van beide stromingen getuigt van een veldwinnenden invloed van het Platonisme in zijn Pythagoraeïsche strekking aan den enen, in zijn Eudoxische aan den anderen kant. Uiterlijk blijkt dat uit de herleefde belangstelling voor de Platonische lichamen, de vijf regelmatige veelvlakken. De humanisten verdiepen zich weer in de betekenis die deze als atoomvormen voor de structuur der materie bezitten, de kunstenaars, die ze uit een geschrift. van Piero de' Franceschi, door Pacioli in zijn *Divina Proportione* herdrukt, hadden leren kennen, gebruiken ze voor decoratieve doeleinden.

29. Voordat we nu overgaan tot een meer gedetailleerde behandeling van de lotgevallen van de verschillende takken der natuurwetenschap in de periode die ons thans bezighoudt, willen we nog wijzen op een gemeenschappelijken trek van de geschriften die uit de kringen der artisten

en technici zijn voortgekomen of die aan hun werk hun ontstaan danken, namelijk op het overal aan den dag tredende streven, het Latijn, dat zowel in scholastische als in humanistische kringen altijd een onaantastbare positie als voertaal der wetenschap had ingenomen, ten behoeve van de landstaal terug te dringen[22]. De motieven die hierbij werkzaam waren, liggen voor de hand: de auteurs hebben in den regel zelf niet de traditionele voorbereiding op een wetenschappelijke loopbaan genoten en ook wanneer zij het Latijn wel machtig zijn, zoals b.v. bij Leon Battista Alberti het geval is, brengt de aard van hun onderwerp mee, dat ze zich moeten richten tot lezers waarbij dit veelal niet het geval is. Ook dringen zich bij de voortgaande ontwikkeling der techniek zoveel nieuwe denkbeelden op, dat men onwillekeurig liever naar uitdrukking in de levende, met het onderzoek groeiende volkstaal zoekt dan het Latijn te forceren tot het weergeven van gedachten die in de Oudheid en de Middeleeuwen òf niet hadden bestaan òf geen onderwerp van wetenschappelijke behandeling waren geweest.

In den loop van de vijftiende en zestiende eeuw krijgt deze beweging echter een veel bredere en diepere fundering dan in de practische noodzaak waaruit ze was voortgekomen, gelegen was. In de brede kringen van de tot welstand gekomen burgerij wordt steeds dringender de vraag gesteld, met welk recht de geleerde wereld, onverschillig of dit nu scholastieke philosophen of humanisten zijn, het gebruik van haar schatten onthoudt aan allen die geen Latijn kennen. Het is een vraag die zich te meer opdringt, omdat zich ook steeds sterker de twijfel openbaart, of de officiële wetenschap wel voldoende contact heeft met het werkelijke leven, of ze er voldoende diensten aan bewijst en genoeg profiteert van de daar opgedane ervaring. De oppositie tegen het Latijn als exclusieve taal van de geleerdenrepubliek valt daardoor samen met den strijd tegen de wereldvreemdheid, waarbinnen die republiek zich zo gelukkig voelde.

Op allerlei wijzen is die strijd in de vijftiende en zestiende eeuw gevoerd. De geleerde die zich slechts in het Latijn meent te mogen uitdrukken en die dit alleen maar kan doen door het te verbasteren, vormt een bekende figuur in de satirische Italiaanse comedie, o.a. in de stukken van den Paduaansen volksdichter Ruzzante, waar Galilei later zoveel plezier in zou hebben. Onderwerp van een ernstig wetenschappelijk vertoog wordt de kwestie bij Sperone Speroni, die in zijn *Dialogo della Lingua* (1547) de dringende noodzakelijkheid aantoont, dat men zich in wetenschappelijke geschriften van de landstaal zal gaan bedienen, niet alleen met het oog op de behoeften en rechten van de velen die geen Latijn hebben geleerd, maar daarom nog niet uitgesloten willen worden van het contact met de wetenschap, maar ook wegens het gevaar voor de zelfstandigheid en onbevangenheid van het denken dat voortvloeit uit de gewoonte, zijn gedachten te formuleren in de kunstmatig aangeleerde taal van een voorbijgegane cultuur en dit te meer, omdat - volgens Speroni -

de meerwaardigheid van die cultuur boven die van den eigen tijd in twijfel mag worden getrokken.

30. Het meest effectief was echter natuurlijk de bestrijding van het Latijn met de daad, door het schrijven van wetenschappelijke werken in de landstaal. Hierbij kwamen echter zowel de bezwaren die aan de afschaffing van het Latijn als gemeenschappelijke geleerdentaal ook verbonden waren, als de moeilijkheden die het gebruik van de moedertaal met zich meebracht, tot uiting. De internationaliteit der wetenschap kwam in het gedrang en de nationalisering van haar uitdrukkingswijze bleek niet ieders werk te zijn, In de landstalen ontbraken de technische termen en specifieke zinswendingen die voor het logische betoog, de philosophische reflectie en de mathematische redenering nodig waren. Die alle nieuw te vormen, vereiste een taalkundig talent dat slechts enkelen bezaten. En zo kwam men er spoedig toe om ze dan toch maar weer in het Latijn of het Grieks weer te geven met het gevolg, dat de landstaal vaak op de meest barbaarse wijze werd doorspekt met klassieke termen, die men grammaticaal bleef behandelen, alsof men nog Latijn of Grieks schreef.

De nawerking van het onvermogen zich geheel van de oude talen als uitdrukkingsmiddel der wetenschap te ontdoen, is in onzen tijd nog te bespeuren in de zeer ruime toepassing van daaraan rechtstreeks ontleende of uit daarin voorkomende woorden kunstmatig samengestelde technische termen, die vooral in de wis- en natuurkunde en de medicijnen gebruikelijk is; dat is echter een gewoonte die men slechts kan toejuichen; zij herstelt immers voor een groot deel het verlies van de internationale verstaanbaarheid van de wetenschappelijke taal, dat bovendien nog wordt vergoed door een intensief gebruik van algemeen aanvaard wiskundig tekenschrift. In de zestiende eeuw echter was van zulk een tekenschrift nog nauwelijks sprake; natuurlijk waren er de cijfers, maar zelfs voor gelijkheid en de meest elementaire rekenkundige bewerkingen ontbraken de tekens nog en de wiskundige redeneringen werden nog geheel in woorden meegedeeld.

31. Het is onder deze omstandigheden geen wonder, dat het de grootste moeite heeft gekost, den strijd om de wetenschappelijke voertaal ten gunste van de landstalen beslist te krijgen en dat men nog tot aan het eind van de achttiende eeuw strikt wetenschappelijke verhandelingen als regel in het Latijn is blijven schrijven. Het volkomen gewettigde streven, de wetenschappelijke geschriften toegankelijk te maken voor alle kringen der bevolking om zodoende niet alleen belangstelling in wetenschap te wekken, maar ook tot haar actieve beoefening te prikkelen en daardoor alle beschikbare krachten in den dienst van haar vooruitgang te stellen - een streven, dat in ons land aan het einde van de zestiende eeuw door Stevin even welsprekend zal worden verdedigd als daadwerkelijk bevorderd (IV: 62) - heeft dan ook voorlopig maar een zeer gering succes gehad. In elk land zijn natuurlijk al heel vroeg boeken die geheel en al op de

practijk waren ingesteld, dus rekenboeken en geschriften die slechts voor een bepaalde klasse van technici bestemd waren, in de landstaal verschenen; voor meer wetenschappelijke werken blijft het echter een uitzondering. Wij zullen niet in details treden, maar volstaan niet enkele namen te noemen. Daarbij mag dan wel eerst een veertiende-eeuwse voorloper worden vermeld; het is opnieuw de voortreffelijke Oresme, die op last van den koning Charles V geschriften van Aristoteles in het Frans vertaalde en zijn eigen werken *Traité de l'Espère* (= Sphère) en *Traité du Ciel et du Monde* (een commentaar op *De Coelo* van Aristoteles) in zijn moedertaal schreef. In de vijftiende eeuw is het belangrijkste voorbeeld wel de Italiaanse wiskundige Luca Pacioli, in de vroege zestiende is in Duitsland de eerste voorvechter van de moedertaal Paracelsus, die haar in zijn boeken gebruikte en die als haagleraar te Bazel opschudding verwekte door zijn colleges in het Duits te geven; zijn geschriften getuigen echter tevens van de grote moeite die het kostte om over wetenschappelijke onderwerpen te schrijven in een taal die daarvoor nooit gediend had.

Naast hem moet hier vooral Albrecht Dürer worden genoemd. In Italië schrijven in denzelfden tijd Tartaglia en Bombelli werken in de eigen taal, die echter grotendeels onder de rubriek van het rekenkundige en technische vallen. Daarna komen in ons land Stevin en in Italië Bruno en Galilei, met wie de landstalen werkelijk voor het eerst in de zuivere wetenschap en de philosophie doordringen.

Na al deze meer algemene inleidende beschouwingen zullen we nu voor enkele speciale vakken het verloop van de geschiedenis in den overgangstijd iets meer gedetailleerd beschrijven. We kiezen daarvoor de mechanica en enkele daarmee verband houdende onderwerpen van physischen en chemischen aard.

Eindnoten:

18 Borkenau.
19 Geciteerd bij von Martin 21.
20 Grossmann.
21 Zilsel (1) (2).
22 Olschki (1).

III. De mechanica in den overgangstijd

A. De school van Jordanus. de invloed van de techniek

32. Wij zeiden boven, dat niet steeds scherp is aan te geven, wanneer de periode die we in dit hoofdstuk behandelen, begint. Dat is voor geen enkel vak zo moeilijk te zeggen als voor de mechanica. Wanneer we namelijk voor het enige onderdeel daarvan dat werkelijk reeds als een zelfstandige wetenschap beschouwd kon worden, de statica, de voorgeschiedenis willen overzien, moeten we in Europa teruggaan tot de twaalfde en dertiende eeuw, komen van daar op Arabische, aan Griekse bronnen ontleende geschriften en eindigen dus weer in de Oudheid, bij de afleiding van de hefboomswet in de Aristotelische *Quaestiones Mechanicae*, bij de axiomatische behandeling van de leer van hefboom en zwaartepunt door Archimedes en bij de theorie der enkelvoudige werktuigen van Heroon. Langs wegen die we niet zullen beschrijven, is al deze kennis, in de Middeleeuwen als *Scientia de Ponderibus* betiteld (Stevin zou later van *Weeghconst* spreken), zij het ook in niet geheel ongeschonden gedaante, in West-Europa terecht gekomen, waar ze niet alleen werd opgenomen, maar ook verdere ontwikkeling vond in de school van den nog altijd enigszins vagen dertiende-eeuwsen wiskundige Jordanus Nemorarius.

33. De twee principieel verschillende behandelingswijzen die de fundamentele hefboomswet in de Oudheid had ondervonden, de meer intuïtieve uit de *Quaestiones Mechanicae* en de streng-axiomatische van Archimedes, blijken nog steeds naast elkaar, soms min of meer met elkaar vervlochten, voort te leven. Echter wordt in de eerste het verband met de grondwet van de peripatetische dynamica losgelaten. De redenering wordt thans gebaseerd op een postulaat, dat men wel het axioma van Jordanus noemt en waarin wordt uitgesproken, dat iets dat in staat is, een zekeren last L over een zekere hoogte h op te heffen, ook het n-voud van dien last over het n^{e} deel van die hoogte kan verplaatsen. Wat dat 'iets' is, blijft voorlopig vaag. Eerst veel later zal de klassieke mechanica tot een exacte formulering komen door te zeggen, dat in beide gevallen dezelfde arbeid verricht moet worden of dat beide malen dezelfde hoeveelheid energie moet worden meegedeeld.

Met behulp van dit axioma wordt nu in het geschrift *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis*, dat men aan Jordanus zelf pleegt toe te schrijven, de hefboomswet afgeleid[23]. De gevolgde methode is kennelijk geïnspireerd door die van de *Quaestiones Mechanicae* maar vermijdt juist de daaraan eigen gebreken. Zij in Fig. 10 een gewichtloze, om O draaibare staaf gegeven, waaraan in A_1 en A_2 gewichten G_1 en G_2 hangen, die aan de voorwaarde

$$G_1 : G_2 = OA_2 : OA_1$$

(1) voldoen. Stel nu, dat het gewicht G_2 in A_2, dalend naar B_2, in staat is,

G_1 van A_1 naar B_1 te brengen; men beschouwt nu inplaats van de bogen A_1B_1 en A_2B_2 de verticale verplaatsingen B_1C_1 en B_2C_2, die zich verhouden als OB_1 en OB_2 en waarvoor dus wegens (1) de voorwaarde

$$G_1 : G_2 = B_2C_2 : B_1C_1$$

(2) geldt. Zij nu $OA_3 = OA_2$ en laat inplaats van een gewicht G_1 in A_1 een gewicht G_2 in A_3 hangen, dat bij de aangenomen draaiing naar B_3 gaat, en dus een verticale stijging B_3C_3 ondergaat. Wegens (2) is dus ook

$$G_1 : G_2 = B_3C_3 : B_1C_1.$$

Is dus $G_2 = n \,.\, G_1$, dan is $B_3C_3 =$ en volgens het axioma van Jordanus zal een op de staaf werkend bewegend vermogen, dat G_1 tot B_1 kon opheffen, in plaats daarvan G_2 naar B_3 kunnen brengen. Was nu het gewicht G_2 in A_2 tot het eerste in staat, dan zou het dus ook G_2 van A_3 naar B_3 kunnen brengen. Maar dat laatste kan het ten duidelijkste niet doen, omdat de hefboom onder invloed van gelijke gewichten, die aan weerskanten op gelijke afstanden van O hangen, in evenwicht moet zijn.

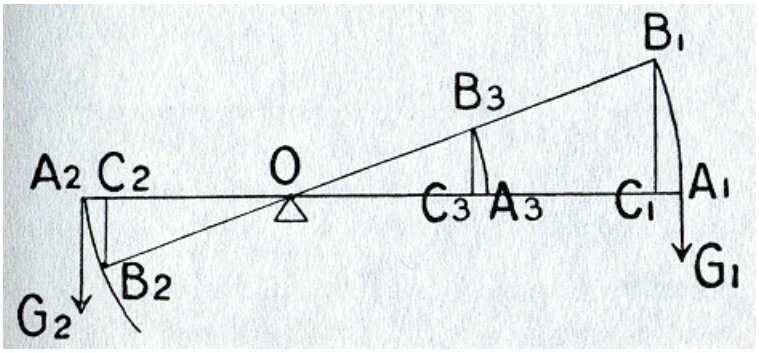


Fig. 10. Afleiding van de hefboomswet in *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis*.

In deze redenering tekent zich reeds duidelijk het principe der virtuele verplaatsingen of van den virtuelen arbeid af, waarin wordt uitgesproken, dat bij een virtuele (d.w.z. mogelijke) verplaatsing de som van de door de werkende krachten verrichte arbeiden nul is. In het algemeen moeten die verplaatsingen oneindig klein worden genomen; in het onderhavige geval kunnen ze echter eindig zijn; aan deze omstandigheid is het te danken, dat de gehouden redenering slaagt. Volgens de definitieve formulering is de inkleding als bewijs uit het ongerijmde niet nodig; de virtuele verplaatsingen worden niet beschouwd als door de werkende krachten veroorzaakt, maar als zuiver mathematische verplaatsingen van de punten A_1 en A_2 van de onbezwaarde als lijn gedachte staaf. Voordat dit echter duidelijk was ingezien, heeft de methode steeds weer bloot gestaan aan de o.m. door Simon Stevin (IV: 62) aangevoerde tegenwerping, dat het absurd is, een voorwaarde waaronder krachten elkaar in evenwicht houden, af te leiden uit de onderstelling, dat er beweging optreedt, dus dat de krachten geen evenwicht maken; dat laatste wordt namelijk juist niet ondersteld.

34. Van nog groter belang dan deze afleiding van de hefboomswet is

een op hetzelfde beginsel berustend bewijs voor de wet van het hellend vlak, omdat daardoor een stelling werd bewezen die steeds buiten het bereik van de Griekse wiskundigen was gebleven. Het komt voor in een geschrift dat in 1565 wel als *Jordani Opusculum de Ponderositate* gedrukt is, maar dat waarschijnlijk niet van dezelfde hand is als het boven geciteerde werk. Over den auteur, dien men zich in ieder geval tot de school van Jordanus denkt te behoren, tast men in het duister; de betiteling 'Voorloper van Leonardo' die Duhem hem placht te geven, is reeds hierom minder gewenst, omdat zij van zijn eigen tijd en herkomst niets zegt.

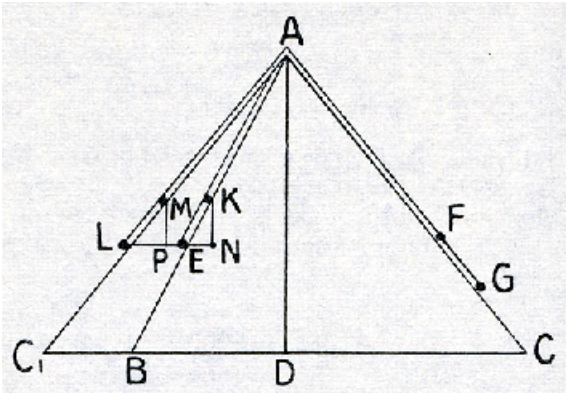


Fig. 11. Afleiding van de wet van het hellend vlak in *Jordani Opusculum de Ponderositate*.

De schrijver denkt zich (Fig. 11) de hellende vlakken *AB* en *AC* met gelijke hoogte *AD*. Ondersteld wordt *AC* > *AB*. Een in *E*op *AB* gelegen lichaam met gewicht G_1 is door een over een katrol in *A* lopend koord met een lichaam van gewicht G_2 in *F* op verbonden. Het gestelde luidt, dat er evenwicht is, als $G_1 : G_2 = AB:AC$. Is dit niet het geval, dan zal een der gewichten omlaag gaan. Neem aan, dat dit G_2 is en dat het van *F* naar *G* gaat, daarbij G_1 ophijsend tot *K*. Men denkt zich nu een derde hellend vlak AC_1 aangebracht, dat denzelfden hellingshoek heeft als *AC*, zodat $DC_1 = DC$ en hierop in *L* een gewicht G_2. *L* ligt even hoog als *E*. Zij $LM = EK = FG$. Het doel is nu, te bewijzen, dat wanneer G_2 in staat is, G_1 naar *K* te brengen, het ook in plaats daarvan G_2 van *L* naar *M* zou kunnen brengen, wat het wegens de symmetrie natuurlijk juist niet kan doen. Zijn *KN* en *MP* de afstanden van *K* en *M* boven de horizontale lijn *LE*, dan gelden de betrekkingen

waaruit wegens

$$\frac{MP}{LM} = \frac{AD}{AC_1} \text{ en } \frac{KN}{KE} = \frac{AD}{AB}$$

$$LM = KE \text{ en } AC_1 = AC \text{ volgt}$$

$$\frac{MP}{KN} = \frac{AB}{AC}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{AB}{AC} \text{ volgt hieruit } \frac{G_1}{G_2} = \frac{MP}{KN}$$

Daar echter ook

Is dus $G_1 = n \,.\, G_2$, dan is $KN = \frac{MP}{n}$, dus zou G_2 op *AC* inderdaad

G_2 op AC_1 in beweging kunnen brengen, wanneer ondersteld is, dat het G_1 kan ophijsen. Het bewijs is hiermee geleverd.

De redenering is opmerkelijk wegens het heldere inzicht in het principe der virtuele verplaatsingen; ze is het, naast de andere afleidingen in de werken van de school van Jordanus, tevens als symptoom van het uit de Oudheid reeds bekende streven, de mechanica in wiskundigen trant te behandelen. Er worden algemene axiomata of principes vooropgesteld, die weliswaar niet zo vanzelfsprekend of onbetwijfelbaar aandoen als de axiomata der meetkunde, maar die toch zo aannemelijk zijn, dat men - in overeenstemming met de oorspronkelijke betekenis van axioma: eis, vordering - van den lezer mag verlangen, dat hij ze aanneemt. En verder wordt het probleem als een zuiver mathematisch vraagstuk behandeld. Dat kan natuurlijk alleen, omdat de omstandigheden zich zo gemakkelijk laten idealiseren: gladde vlakken, een buigzaam koord, een katrol zonder wrijving en massa, dat alleen dient om de richting waarin een kracht werkt, te veranderen. Zo verkrijgt de mechanica ook in West-Europa reeds dadelijk de eigenaardige tussenpositie tussen wiskunde en physica, die steeds haar problematiek zal blijven uitmaken: handelend over physische verschijnselen onttrekt zij zich nochtans bij voorbaat door haar ver gaande en gemakkelijk uit te voeren idealisering aan de empirische methoden waar andere delen der physica niet buiten kunnen; zij wordt een aangelegenheid der mathematici en haar resultaten schijnen in de meeste gevallen door de ervaring van het dagelijks leven in het geheel niet bevestigd te worden. Toch is het juist dezelfde dagelijkse ervaring, die haar de problemen stelt en die telkens weer tot haar beoefening prikkelt.

35. Deze mathematische mechanica nu blijkt in de vijftiende en zestiende eeuw hoe langer hoe meer de belangstelling te trekken van de technici die zich met de constructie van machines voor de industrie en van vuurwapenen voor den oorlog, met uitvoering van burgerlijke en militaire bouwwerken of met vervaardiging van instrumenten bezighouden. De diensten die zij hun daarbij bewijst, worden haar veelvoudig vergolden; zij profiteert in hoge mate van de bij haar toepassing opgedane ervaring. Het streven naar een zo voordelig mogelijk gebruik van de beschikbare energie leidt tot nauwkeuriger analyse van de wijze waarop de werktuigen functionneren en tot dusver onbekende verschijnselen stellen haar voor nieuwe problemen. De sterkste impulsen gaan daarbij wel uit van het intensiever wordend gebruik van waterkracht in den mijnbouw en de ijzerindustrie en van de ontwikkeling der vuurwapenen, in het bijzonder van de constructie van steeds grotere kanonnen.

Bleef van deze twee toepassingen de eerste nog binnen het sedert de Oudheid traditionele kader van behandeling der mechanische werktuigen, waarin alleen het grensgeval wordt beschouwd, dat macht en last elkaar in evenwicht houden en waarin dus, hoewel het om machines in beweging gaat, het gebied der statica nog niet verlaten wordt, zo leidden het

gebruik van vuurwapenen en de waarneming van de daarmee te verkrijgen effecten er toe, dat de bewegingsverschijnselen in het middelpunt der belangstelling kwamen te staan en dus het in de Oudheid nog nauwelijks betreden gebied der dynamica ontsloten werd. De gedaante van de kogelbaan en het kennelijk verband tussen de grootte van de ontploffende lading, de elevatie van den vuurmond, het gewicht van het projectiel en de schootsverheid, gaven aanleiding tot onderzoekingen die van het hoogste belang voor de ontwikkeling van de physica geweest zijn. De waargenomen verschijnselen leidden voorts tot een aanzienlijke quantitatieve verruiming van den ervaringskring, doordat er veel grotere snelheden optraden dan in de Oudheid ooit waren voorgekomen. Zo ergens, dan moest hier wel twijfel worden gewekt aan de juistheid van de Aristotelische worptheorie, waarin een projectiel slechts door het medium in beweging wordt gehouden, en tevens de aandacht voor den invloed van den luchtweerstand worden verlevendigd. Behoeften van oeconomischen aard spoorden verder tot theoretisch onderzoek aan: het gebruik van artillerie was uiterst kostbaar en er was dus alle aanleiding om, zoals Biringuccio heeft trachten te doen, te onderzoeken, of men niet door een meer rationele constructie tot een besparing op de kosten van bouw, transport en gebruik kon komen.

In de zestiende eeuw gaat verder een belangrijke invloed uit van de constructie van uurwerken en planetaria; de vervaardigers ervan, bekwame mechanici met artistieken aanleg, leerden een nuttig gebruik maken van de beweegkracht van vallende gewichten en gespannen veren en werden gevoerd tot de studie van de verschillende mogelijkheden van bewegings-overdracht.

36. Het getuigt nu wel van de enorme moeilijkheden die aan den opbouw van de mathematische mechanica en daardoor aan het tot stand komen van de klassieke physica in den weg hebben gestaan, dat het nuttig effect van al deze activiteit voor de theoretische beheersing van het vak in de vijftiende en zestiende eeuw toch nog slechts betrekkelijk gering is geweest en dat het tot de zeventiende heeft moeten duren, voordat het gelukt is, de opgedane ervaring ten volle in de wetenschappelijke begripsvorming tot haar recht te doen komen. Het zal na wat we vroeger over de schijnbare aannemelijkheid van de peripatetische dynamica in het licht van de onopzettelijke empirie hebben gezegd, niet moeilijk zijn, dit verschijnsel te begrijpen. De afstand tussen de physische realiteit der bewegingsverschijnselen en de ideële gedachtengangen der theoretische dynamica is zo groot en de resultaten waartoe de laatste voert (b.v. dat een enkele kracht aan een stoffelijk punt een eenparig veranderlijke beweging meedeelt en dat een willekeurig kleine kracht daartoe bij een willekeurig grote massa in staat is) worden door de ervaring, die de eerste (waarin men nooit met stoffelijke punten en alleen werkende krachten te maken heeft) biedt, schijnbaar zo volkomen weersproken, dat het waarlijk

niet verwonderlijk is, dat men er niet zo gemakkelijk in geslaagd is, hier den weg van de ervaring tot de theoretische behandeling te vinden. Daar komt nog bij, dat juist de drie belangrijkste groepen van bewegingsverschijnselen, val, worp en botsing, zo snel verlopen, dat de niet door instrumentele hulpmiddelen ondersteunde zinlijke waarneming er weinig over leren kan en dat de Aristotelische natuurwetenschap, althans wat de eerste twee van deze fundamentele onderwerpen betreft, de geesten zozeer in dwalingen had verstrikt, dat het weinige dat er nog uit op te maken valt, niet meer onbevangen kon worden opgenomen.

Het zou voor het doel van dit boek natuurlijk weinig zin hebben, thans te gaan doen wat een volledige geschiedenis van het natuurwetenschappelijk denken niet zou mogen nalaten, namelijk voor de verschillende auteurs van de overgangsperiode vaststellen, in hoeverre zij over de verschijnselen die de mechanica behandelt, nog zuiver Aristotelisch denken, in hoeverre zich reeds een stemming van radicalen twijfel en principieel verzet begint te openbaren en in welke opzichten zij er reeds in slagen, nieuwe wegen te vinden of althans nieuwe perspectieven te openen. Wij beperken ons er weer toe, enkele karakteristieke punten in het licht te stellen.

We spreken daartoe eerst over het aandeel in de ontwikkeling der mechanica van een der belangwekkendste figuren uit het tijdvak dat ons bezighoudt, den Italiaansen kunstenaar Leonardo da Vinci. Door zijn levensomstandigheden evenzeer vrijstaand ten opzichte van de officiële wetenschap der Universiteiten als onafhankelijk van de tradities van het humanistengilde, vurig belangstellend in alles wat de natuur betreft en technisch uitzonderlijk begaafd, lijkt hij wel de eerste, bij wien men een zelfstandige, oorspronkelijke en door alle beschikbare bronnen gevoede visie op de natuurverschijnselen mag verwachten. Zo ergens, dan moet zich hier de komende vernieuwing aankondigen.

B. Leonardo da Vinci[24]

37. Het is niet gemakkelijk, zich een enigszins duidelijke voorstelling te vormen van den inhoud en de betekenis van Leonardo's natuurwetenschappelijk denken. De aantekenboekjes, waarin hij gewend was, alle opmerkingen te noteren waartoe lectuur van geschriften van anderen of eigen overwegingen aanleiding gaven, bevatten weliswaar talloze passages over physische en technische onderwerpen, maar deze hangen onderling vaak zo weinig samen, zijn zo fragmentarisch van aard en bieden niet zelden zo grote moeilijkheden van interpretatie, dat uit de bestudering niet licht een scherp beeld van zijn wetenschappelijke persoonlijkheid oprijst. Aanvankelijk voelt men zich deels verward door de veelheid der aangeroerde problemen en door het telkens afbreken van het betoog, deels overweldigd door den rijkdom der ontwikkelde gedachten, de leven-

digheid en het beeldend karakter van den stijl en den onmiskenbaren adem van genialiteit, die alles doordringt. Is men bij voortgezette lectuur deze twee oorzaken van vertroebeling van den kritischen zin te boven gekomen, dan blijkt het nog steeds moeilijk te zijn, tot een juist oordeel over de wetenschappelijke en historische waarde van het gelezene te komen: het is vaak niet mogelijk om door de vaagheid van de soms tot lyrische bewogenheid stijgende uitdrukkingswijze heen tot de gedachte van den schrijver door te dringen; telkens weer blijft men in het onzekere verkeren over de betekenis die hij aan verschillende veel gebruikte termen hecht en men slaagt er vaak niet in, het logisch verband tussen de aan eenzelfde onderwerp gewijde beschouwingen op te sporen. Wanneer men echter tenslotte, na zich zo goed mogelijk te hebben onttrokken aan den suggestieven invloed van de vele aan Leonardo als beoefenaar der natuurwetenschap gewijde studies, waarin zijn prestaties op dit gebied panegyrisch worden verheerlijkt[25], de nuchtere vraag stelt, wat nu eigenlijk het resultaat is van deze bladzijdenlange ontboezemingen, beschouwingen en problemen, welke positieve bijdrage tot de ontwikkeling der natuurwetenschap er in geleverd wordt, dan kan men moeilijk tot een andere conclusie komen, dan dat deze in aantal en betekenis geringer zijn dan men op grond van de reputatie die hij allerwege geniet, zou mogen verwachten.

38. Aard en inhoud van zijn aantekeningen maken het verder ook moeilijk, de juistheid toe te geven van de gangbare bewering, dat, zij, wanneer zij maar tijdig bekend waren geworden, de geboorte der klassieke natuurwetenschap een of anderhalve eeuw zouden hebben kunnen vervroegen. Het is nauwelijks aannemelijk te achten, dat deze chaotische verzameling van notities, waarin flitsen van genialiteit afgewisseld worden door heel gewone excerpten uit alom bekende werken, in handen van anderen aan het algemene peil der wetenschapsbeoefening meer ten goede zouden zijn gekomen dan nu de auteur ze zijn gehele leven onder zijn berusting heeft gehouden en zij eerst na zijn dood langs verschillende kanalen toch nog bekend zijn geworden. Of wordt bedoeld, dat zij die vervroeging zouden hebben kunnen bewerken, wanneer Leonardo zich er toe gezet had, zijn gedachten systematisch te ordenen en in boekvorm wereldkundig te maken? Dan gaat men uit van de onderstelling, dat hij voor zich zelf tot een voldoend helder en omvattend natuurwetenschappelijk inzicht had kunnen komen of wellich gekomen is om de nodige afronding en systematisering werkelijk te kunnen uitvoeren; die onderstelling wordt echter juist door het chaotisch karakter der aantekeningen, door de vele tegenstrijdigheden die er in voorkomen, door de vaagheid der gebruikte terminologie, door het ontbreken van ieder spoor van logischen opbouw, wel zeer onwaarschijnlijk gemaakt. Daarom kan men ook, zoals wel geschiedt[26], kritiek op wat in de aantekenboekjes staat, niet afwijzen op grond van de overweging, dat zij een verzameling schetsen en notities bevatten, die hun

logischen samenhang eerst bij de verwerking tot een boek verkregen zouden hebben. Ongetwijfeld is een boek meer dan de verzameling van de aantekeningen en ontwerpen waaruit het gegroeid is, maar is het aannemelijk, dat het inzichten zou bevatten waarvan in die aantekeningen en ontwerpen niets te bespeuren valt? Het is ook niet juist, te beweren, dat Leonardo zijn notities slechts voor persoonlijk gebruik maakte: wanneer hij op 22 Maart 1508 te Florence het manuscript begint dat tegenwoordig als het Arundel ms 263 in het British Museum berust, spreekt hij al dadelijk den lezer toe[27] en men ontmoet te vaak verschillende redacties van eenzelfde gedachte om hierin geen concepten voor een publicatie te zien. Zijn vriend, de wiskundige Luca Pacioli, vermeldt een werk over locale beweging, stoot en gewicht en alle andere krachten, dat hij trachtte te voltooien[28]. Het heeft ongetwijfeld symptomatische betekenis voor de structuur van zijn wetenschappelijk denken, dat zulke publicaties nooit klaar zijn gekomen.

39. Wij zijn ons natuurlijk ten volle bewust van de disharmonie tussen deze wijze om over Leonardo als beoefenaar der natuurwetenschap te schrijven en de gangbare beoordeling van de verdiensten die hij als zodanig bezit. Voorzover dat gemis aan overeenstemming berust op interpretatieverschillen die vatbaar zijn voor een redelijke discussie, zullen we er beneden op terugkomen. Er zijn echter ook beschouwingen over hem in omloop, die iemand slechts tot de zijne zou kunnen maken, wanneer hij de auteurs evenaarde in het bezit van bijzondere vermogens om historische samenhangen te zien. Hij zou dan b.v. in staat moeten zijn, om in Leonardo's uitlating: ‘Ieder gewicht streeft er naar langs den kortsten weg naar het centrum te vallen’ de kern van Newton's gravitatieleer te herkennen en in de aantekening: ‘Schrijf over de natuur van den tijd onafhankelijk van zijn geometrie’ een aanwijzing te ontdekken van den weg die later door Einstein betreden zou worden[29].

Leonardo lijkt ons op natuurwetenschappelijk gebied eerder de rusteloze zoeker dan de heldere geest, die anderen wegen wijst. Dat maakt hem echter voor het doel van dit werk zo bij uitstek geschikt. Men kan niet duidelijker beseffen, hoe moeilijk het geweest is, den weg uit de peripatetische naar de klassieke natuurwetenschap te vinden dan wanneer men iemand met zijn genialiteit, werkkracht, belangstelling en hoge technische begaafdheid ziet worstelen met de essentiële duisterheden die de grondslagen der mechanica omhullen.

40. Nu loopt men natuurlijk, als men hem zo beschouwt, altijd gevaar, dat men te veel let op de moeilijkheden die hij niet te boven is gekomen en te weinig aandacht overhoudt voor de gevallen waarin hij de wetenschap zelf wel vooruit heeft gebracht of haar beoefening heeft bevorderd. Om dat gevaar te ontgaan, wijzen we eerst op de aanzienlijke plaats die de mechanische technologie steeds in zijn leven heeft ingenomen. Hoewel hij thans voor alles als schilder bekend staat, is hij feitelijk nog meer

ingenieur geweest dan beeldend kunstenaar en dat zowel op burgerlijk als op militair gebied. Wanneer hij in 1483 zijn diensten aanbiedt aan den hertog van Milaan, Ludovico Sforza, en daartoe in een brief een overzicht geeft van de prestaties waartoe hij zich in staat acht, handelen van de tien punten waaronder hij deze samenvat, er negen over oorlogsaangelegenheden[30]. Er zijn perioden in zijn leven waarin hij de kunst geheel verwaarloost ter wille van waterbouwkundige werkzaamheden en constructie van machines. Zijn aantekeningen bevatten talloze schetsen van werktuigen, waaronder vooral de projecten van vliegtuigen de aandacht trekken. Ter voorbereiding hierop heeft hij een uitvoerige studie van het vliegen van vogels gemaakt, die daartoe geheel uit een oogpunt van mechanica worden beschouwd[31].

Het is duidelijk, hoezeer door al dergelijke werkzaamheden waarin hij bovendien niet alleen stond, maar aanknoopte bij een technologische traditie die op haar beurt gevoed werd door de antieke technische overlevering, de kring der natuurwetenschappelijke belangstelling moest worden uitgebreid buiten de voornamelijk door philosophische gezichtspunten bepaalde grenzen, waarbinnen zij zich in de Scholastiek opgesloten had gezien. Die grenzen waren deels zeer eng, deels zeer ruim geweest; ruim in zoverre als het denken er naar gestreefd had, den gehelen kosmos van zijn diepste gronden tot aan zijn uiterste voleindiging te omvatten, eng doordat men in het licht van een zo verheven doelstelling blind was gebleven voor de betekenis van menig alledaags natuurverschijnsel en voor de behoeften van de praktijk der samenleving. Thans was de natuurwetenschap echter op weg om in te halen wat Oudheid en Middeleeuwen gezamenlijk hadden verzuimd; ze begon langzamerhand te beseffen wat de techniek voor haar en zij voor de techniek kon betekenen.

41. Sprekende over de positieve bijdragen die Leonardo tot de ontwikkeling der natuurwetenschap geleverd heeft, moeten we in de tweede plaats zijn onderzoekingen op het gebied der statica vermelden. Zijn aantekeningen hierover bevatten weliswaar voor een deel niet meer dan excerpten uit de werken van Jordanus Nemorarius en zijn school, maar leveren anderzijds het bewijs, dat hij de daaraan ontleende theorieën heeft uitgebreid en op nieuwe problemen heeft toegepast. Zo laat hij zien, hoe men door toepassing van de hefboomswet de spanningen kan vinden in de twee delen van een aan twee ophangpunten bevestigd koord dat in een willekeurig punt met een gewicht bezwaard is; hij geeft een afleiding voor het zwaartepunt van een viervlak en een benaderde bepaling voor dat van een cirkelsector; hij schetst een uiterst aanschouwelijke proefondervindelijke controle van de wet van het hellend vlak en lost verscheidene vraagstukken over enkelvoudige en samengestelde werktuigen op. Opmerkelijk is bij dit alles echter de onverschilligheid voor den logischen samenhang der verschillende begrippen en stellingen, voor den opbouw van een theoretisch systeem. Al de zorg die hieraan door Archi-

medes en zijn Arabische commentatoren en in de school van Jordanus besteed was, schijnt hem geen belang in te boezemen; het is alsof het hem alleen te doen is om de regels waardoor hij concrete vraagstukken kan oplossen, of hij alles meer als technicus dan als theoretisch natuuronderzoeker en als mathematicus ziet.

Men moet daarbij echter steeds in den technicus den beeldenden kunstenaar begrepen denken, zoals in zijn werkzaamheid als schilder en beeldhouwer ook altijd de ingenieur mede in actie is. Er bestaat voor hem niet slechts een schoonheid die het aesthetisch schouwend oog verrukt, maar ook een die den technischen zin, het gevoel voor vernuftige doelmatigheid, bevredigt. Zijn uitvoerige anatomische studiën hebben niet alleen ten doel, het menselijk lichaam in rust of beweging natuurgetrouw af te beelden zoals het oog het ziet, maar ook, het als mechanisch werktuig zo goed te leren verstaan, dat de afbeelding ook technisch correct is. Zijn belangstelling in theoretische en experimentele zwaartepuntsbepalingen, hoewel in de allereerste plaats bepaald door zijn onvermoeibare pogingen, een vliegtuig te construeren, wordt mede gevoed door zijn streven naar een technisch verantwoorde schilderkunst.

42. Dat wij in Leonardo zoveel meer den op de practische toepasbaarheid van het weten ingestelden technicus dan den naar redelijke fundering en logische ordening strevenden theoreticus zien, kan wellicht in strijd lijken met den uitbundigen lof dien hij in sommige van zijn aphorismen aan de wiskunde als onmisbaren grondslag voor de mechanica toezwaait. Als een tweede Plato verklaart hij, dat wie geen wiskundige is, hem niet lezen moet[32]. Wij hebben hier echter iets dergelijks als we bij Roger Bacon ontmoeten: het is iets anders, of men in abstracto de wiskunde als grondslag der natuurwetenschap hooghoudt, dan dat men in concreto weet, welk voordeel men op een bepaald gebied uit haar gebruik trekken kan. Evengoed als voor den theoretischen opbouw kan zij immers voor de practische toepassing dienen en wellicht heeft Leonardo voor alles aan dit laatste gedacht. In dezen zin zou dan ook zijn uitspraak: ‘De mechanica is het paradijs der mathematische wetenschappen, want door haar komt men tot de mathematische vrucht’[33] moeten worden verstaan.

Het trekt overigens de aandacht, dat wiskundige redeneringen in de aantekeningen van Leonardo een slechts onbelangrijke plaats innemen. De lezer die, aan den hem gestelden eis denkend, de lectuur begint, voelt onder de stromen van woorden waarin de meester zijn gedachten meer verbergt dan dat hij ze er door uitdrukt, telkens weer het verlangen opkomen naar eens een enkel mathematisch betoog, een enkel exact functioneel verband. En voorzover wiskundige methoden practisch worden toegepast, krijgt men niet den indruk van grote bedrevenheid.

43. Wanneer we nu in de mechanica overgaan tot het gebied der elementaire dynamica, het terrein waarop zich de overgang van antieke naar klassieke natuurwetenschap voornamelijk zou voltrekken, vinden we

Leonardo volop gewikkeld in de worstelingen om inzicht die zijn figuur voor ons zo belangwekkend maken. Twee groepen aantekeningen vragen daarbij vooral onze aandacht, die over het begrip *forza* en die over de wetten van den vrijen val[34].

In die van de eerste groep wordt *forza* in herhaalde beschouwingen, die opvallen door een mystiek en hymnisch karakter, omschreven als

> Een spiritueel vermogen, een onzichtbare onstoffelijke macht, die door middel van een accidentelen uitwendigen dwang door beweging wordt voortgebracht en ingestort in lichamen, die uit hun natuurlijke zijnswijze en rust zijn gebracht; zij geeft aan die lichamen een actief leven, een wonderbaarlijke kracht, dwingt alle geschapen dingen van vorm en plaats te veranderen, snelt met razernij haar dood tegemoet en neemt verschillende vormen aan al naar gelang de oorzaken zijn. Langzaamheid maakt haar sterk en snelheid zwak; zij wordt geboren door dwang en sterft door vrijheid. Hoe groter zij is, des te sneller verteert zij zich. Zij verjaagt met geweld alles, wat zich tegen haar vernietiging verzet; zij streeft er naar, haar oorzaak, die zich tegen haar verzet, te overwinnen en te doden en gaat in die overwinning zelf te gronde. Zij wordt des te krachtiger naarmate zij groteren tegenstand ondervindt. Ieder ding ontvlucht gaarne zijn dood. Onder dwang gebracht oefent ieder ding dwang uit. Geen ding beweegt zich zonder haar. Het lichaam waar in ze ontstaat, groeit noch in gewicht noch in vorm. Geen beweging die door haar wordt teweeggebracht is duurzaam. Zij groeit in de inspanning en verdwijnt door rust. Het lichaam waarin ze gebracht is, is van zijn vrijheid beroofd. Vaak brengt zij door middel van beweging nieuwe *forza* voort.

De auteurs over Leonardo plegen deze passage te citeren als een kenmerkend voorbeeld niet alleen van zijn geïnspireerden stijl, maar ook van zijn belangrijkheid voor de ontwikkeling der natuurwetenschap. Zij laten dan echter in den regel na, haar ook uit te leggen en duidelijk te maken, in hoeverre het wetenschappelijk denken nu eigenlijk door ontboezemingen als deze wordt verhelderd en verrijkt. Enkelen geven wel een interpretatie; zo meent Duhem, dat Leonardo blijkbaar den gedachtengang van de Parijse Terministen volgt en dat zijn *forza* hetzelfde is als wat zij *impetus* noemen. Het is echter moeilijk te zien, hoe deze opvatting met den boven weergegeven tekst te rijmen is. Bij lichamen, die door dwang uit hun natuurlijke zijnswijze gebracht zijn, denkt men onwillekeurig aan een omhoog getild zwaar lichaam of aan een gespannen boog of veer. Dat de *forza*, die er door deze beweging aan meegedeeld is, naar haar eigen vernietiging streeft, kan betekenen, dat de steen terug tracht te vallen naar zijn natuurlijke plaats en dat de boog zich wil ontspannen. De *forza* moet zich daarbij verteren, maar de impetus neemt juist toe.

Eerder dan aan impetus, dus aan iets, dat een zekere verwantschap met kinetische energie vertoont, voelt men zich geneigd aan de potentiële energie te denken die de genoemde lichamen door gedwongen verplaatsing uit hun natuurlijke rust gekregen hebben. Het blijft dan echter weer

duister, wat het betekent, dat de *forza* krachtiger wordt, naarmate zij meer tegenstand ondervindt en zich des te sneller verteert, naarmate zij groter is. Ook geldt voor haar niet, dat ieder ding gaarne zijn dood ontvlucht en dat niets zich zonder haar beweegt; dit laatste doet weer meer aan impetus denken, terwijl de elders herhaalde mededeling, dat langzaamheid haar sterk maakt en snelheid zwak, onweerstaanbaar de gedachte wekt aan den z.g. Gulden Regel der Mechanica, die uitspreekt, dat men bij gebruik van een toestel aan kracht wint wat men aan weg verliest; een macht, die veel kleiner is dan de last, moet in denzelfden tijd over een veel groteren weg, dus sneller werken.

Wij zullen ons echter niet verder verdiepen in de vraag, wat men zich bij het woord *forza* al zo denken *kan*. De hoofdzaak is, dat dit een vraag blijkt te zijn, dat door de als definitie aangediende beschouwing over *forza* niet duidelijk wordt gemaakt, wat men zich bij dit woord denken *moet*, dat den lezer een raadsel ter oplossing wordt gegeven, maar geen inlichtingen ter verheldering van zijn denken verstrekt worden. Van een uiteenzetting waarvan het historisch belang voor de ontwikkeling der natuurwetenschap geroemd wordt, verwacht men echter juist dit laatste.

44. Toch is de passage historisch belangrijk, namelijk als bijdrage, niet tot den groei der mechanica, maar tot ons inzicht in de moeilijkheden die aan dien groei in den weg stonden. Leonardo streeft er blijkbaar naar, een begrip op te stellen, dat een exacten vorm zou kunnen geven aan de vage voorstelling die door het woord *forza* van de omgangstaal gewekt wordt, en die, kunnen we er bijvoegen, nog heden ten dage aan het onwetenschappelijk gebruikte woord kracht verbonden is. Nog steeds worden immers tal van verschillende begrippen die de mechanica reeds lang heeft leren onderscheiden, door het ene woord kracht weergegeven. Men spreekt van de kracht, waarmee iets gedrukt of getrokken wordt, maar ook van de kracht, waarmee een lichaam tegen een ander botst of waarmee het zijn beweging tracht voort te zetten, van de spankracht van een gas, van de kracht van stromend of door stuwing tot rust gebracht water, van de levende kracht van een bewegend lichaam, van de kracht van een werkende, maar ook die van een rustende machine en in meer dan een zin van electrische en magnetische kracht. De klassieke natuurwetenschap heeft reeds lang geleerd, dat men, exact sprekend, slechts in enkele van al deze gevallen werkelijk het woord kracht gebruiken mag; ze heeft voor de andere telkens een der termen traagheid, impuls, druk, vermogen, energie, lading, poolsterkte, veldsterkte ter beschikking gesteld en daardoor de begripsverwarring leren vermijden die de in de taal voortlevende veelzinnigheid van den term kracht steeds weer dreigt te bewerken. Dat is het resultaat geweest van een eeuwenlange ontwikkeling, waarop wij thans terugzien, maar die ten tijde van Leonardo nog moest beginnen.

De geciteerde passage is naast andere, waarin hij de termen *peso, percussione, potenza, gravità* omschrijft of zonder omschrijving gebruikt,

een bewijs, hoezeer Leonardo op dit gebied om klaarheid geworsteld heeft. Dat hij die klaarheid niet bereikt heeft, dat wij dus moeten trachten op te sporen, wat hij zich bij de technische termen der mechanica gedacht kan hebben, in plaats van dat hij het ons vertelt, mag ons niet verhinderen, zijn poging naar waarde te schatten. In ieder geval klinkt in zijn beschouwingen een nieuw geluid, dat van den onafhankelijken, door de tradities der officiële wetenschap niet ondersteunden, maar evenmin belemmerden, op eigen inzicht vertrouwenden denker.

45. Een tweede voorbeeld van een strijd met de wezenlijke begripsmoeilijkheden der mechanica vinden we in de tweede der boven onderscheiden groepen van aantekeningen over dynamische onderwerpen, waarin hij zich uitspreekt over het verband van tijd, snelheid en afgelegden weg in den vrijen val. Verscheidene auteurs menen in die aantekeningen te kunnen lezen, dat hij een evenredigheid tussen snelheid en tijd zou hebben aangenomen en dat hij op dat punt dus reeds tot het inzicht zou zijn gekomen dat door de klassieke mechanica bevestigd zou worden. Wij zullen in het volgende, zonder in details te treden, uiteenzetten, waarom deze mening ons onjuist voorkomt en op welke gronden wij in zijn woorden de bewering lezen, dat bij vrijen val uit rust de in opvolgende gelijke tijdvakken afgelegde wegen zich verhouden als de opvolgende natuurlijke getallen.

De oorzaak, dat eenzelfde groep aantekeningen op twee zo volkomen verschillende wijzen geïnterpreteerd kan worden, ligt weer daarin, dat het zo moeilijk is vast te stellen, wat Leonardo eigenlijk met de algemeen gebruikelijke termen der bewegingsleer bedoelt. Dezelfde onzekerheid, die boven bij het gebruik van het woord *forza* bleek te bestaan, doet zich nu voor bij de termen *moto* en *velocità*.

Er is telkens sprake van *un grado di moto*, een graad beweging. Deze vertaling beduidt echter op zich zelf niets; men moet dus, wil men het betoog in begrijpelijken vorm weergeven, al dadelijk gaan interpreteren. Doet men dat door met Duhem *moto* te identificeren met het latere begrip impuls of hoeveelheid beweging (*quantitas motus*), dat het product van massa en snelheid aangeeft, dan kan men uit een aantekening waarin Leonardo zegt, dat een vrij vallend lichaam in iederen graad tijd (*grado di tempo*) een graad beweging (*grado di moto*) en een graad snelheid (*grado di velocità*) verwerft, inderdaad lezen, dat de snelheid in den vrijen val evenredig is met den sedert het begin der beweging verstreken tijd. Men moet daartoe echter nog twee aanvullende onderstellingen maken en wel 1) dat Leonardo met *velocità* instantane snelheid bedoelt en niet gemiddelde snelheid over een zeker tijdvak, en 2) dat hij, zonder het uit te spreken, als axioma gebruikt, dat een eenmaal verworven snelheid behoudens vernietiging door uitwendige oorzaken behouden blijft.

Van de drie onderstellingen, waarop de toekenning van de juiste betrekking tussen snelheid en tijd aan Leonardo berust, wordt echter de

eerste (dat *moto* impuls zou betekenen) ondubbelzinnig weersproken door verscheidene teksten die in hetzelfde verband thuishoren als de aantekeningen waarin men de evenredigheid van snelheid en tijd meent te mogen lezen, terwijl de andere twee althans aan ernstigen twijfel onderhevig zijn. Men vindt namelijk telkens *moto* gebruikt in den zin van afgelegden weg, zodat *un grado di moto* een bepaalden afstand blijkt aan te duiden. Verder kan *velocità* ongetwijfeld instantane snelheid betekenen, maar het wordt evengoed gebruikt voor gemiddelde snelheid over zeker tijdvak of over zekeren afstand. En er zijn inderdaad wel passages te vinden, waaruit een inzicht in een vermogen tot volharden in een beweging spreekt, maar geen, waar het beginsel van traagheid in voldoende klaarheid wordt geformuleerd om te mogen aannemen, dat er bij de opstelling van de valwet stilzwijgend een beroep op zou kunnen zijn gedaan.

In ieder geval *kan* men de bewering van Leonardo ook heel anders lezen, namelijk zo, dat wanneer men een aantal van *n* opvolgende gelijke tijdsdelen (*gradi di tempo*) $\Delta\ t$ beschouwt en den weg die in het eerste dier tijdvakken door een uit rust vrij vallend lichaam wordt afgelegd, $\Delta\ s$ noemt, de wegen in de daarop volgende tijdvakken opv. 2. $\Delta\ s$, 3. $\Delta\ s$ enz. bedragen. In iederen *grado di tempo* komt er dus zulk een afstand (*grado di moto*) bij. De gemiddelde snelheden over de opvolgende tijdvakken zijn nu:

$$\frac{\triangle s}{\triangle t},\ 2.\ \frac{\triangle s}{\triangle t},\ 3.\ \frac{\triangle s}{\triangle t}$$

zodat er ook telkens een *grado di velocità* meer is dan in het voorafgaande.

De definitieve formulering, waarmee de reeks aantekeningen over den val besloten wordt, luidt:

> Een vallend zwaar lichaam verwerft in iederen graad tijd een graad beweging meer dan de verstreken tijdsgraad en ook een graad snelheid meer dan de verstreken bewegingsgraad.

Leest men dit zo, dat in het n^{e} tijdvak het aantal afgelegde wegeenheden $(n\ .\ \triangle s)$ één meer bedraagt dan het rangnummer van het voorafgegane tijdvak en het aantal snelheidseenheden $(n\ .\ \frac{\triangle s}{\triangle t})$ één meer dan het aantal wegeenheden in dat tijdvak, dan vindt men de boven gegeven interpretatie bevestigd. De opvatting echter, dat Leonardo een evenredigheid tussen de instantane snelheid en den sedert het begin der beweging verstreken tijd zou hebben aangenomen, kan in de aantekening:

> In iedere verdubbelde hoeveelheid tijd verdubbelt het (vallend lichaam) de lengte van de daling en de snelheid der beweging

weliswaar een schijnbare bevestiging vinden, als men de woorden ‘de lengte van de daling’ weglaat en ‘snelheid’ als ‘instantane snelheid’ leest, maar zij wordt er onherroepelijk door weerlegd, als men den zin

onverminkt laat staan en ‘snelheid’ als ‘gemiddelde snelheid’ opvat. De bedoeling is blijkbaar deze: verdubbelt men een van het begin der beweging af gerekend tijdvak, dan zijn in de tweede helft van het aldus verkregen tijdvak de afgelegde weg en de gemiddelde snelheid het dubbele van wat ze in het eerste tijdvak waren.

Het is natuurlijk gemakkelijk in te zien, dat een dergelijke betrekking tussen weg en tijd in feite onmogelijk kan bestaan; het gezochte verband mag namelijk niet afhankelijk zijn van de grootte van het gekozen tijdvak Δt, maar het is dat hier ten duidelijkste wel. Kiest men het namelijk tweemaal zo klein als eerst, dan verhouden zich de wegen, die in de twee helften van het oorspronkelijke tijdvak worden afgelegd, als (1+2):(3+4) dus niet langer als 1:2. Het zou nog meer dan een eeuw duren, voordat Christiaan Huygens op deze wijze de ondenkbaarheid van een ganse klasse van voorgestelde valwetten zou aantonen.

Men heeft er zich vaak over verbaasd, dat Leonardo na de opstelling van de wet, die geacht wordt, de evenredigheid van snelheid en tijd uit te spreken, niet ook een poging heeft gedaan om het verband van weg en tijd op te sporen. Die verbazing verdwijnt bij de boven voorgestelde interpretatie vanzelf: de valwet van Leonardo, waarin dus wordt uitgesproken dat de wegen die in opvolgende gelijke tijdsdelen werden afgelegd, zich verhouden als de opvolgende gehele getallen, geeft voor die opvolgende gelijke tijdsdelen tegelijkertijd den weg èn de snelheid aan, maar dit is een gemiddelde snelheid en over de instantane wordt niet gesproken.

46. Wij hebben bij Leonardo's beschouwingen over den vrijen val niet alleen daarom zo lang stilgestaan, omdat het van belang is, zijn gedachtengang zo nauwkeurig mogelijk te benaderen, maar ook en vooral, omdat daarin zo duidelijk een der meest wezenlijke moeilijkheden aan het licht komt die de mechanica te overwinnen heeft gehad, voordat zij de grondslag der wiskundig behandelde physica heeft kunnen worden. Die moeilijkheid bestaat in de noodzaak, voor een grootheid die van den tijd afhangt, een scherpe begripsbepaling te vinden ter fixering van de wijze, waarop ze op een gegeven ogenblik bezig is te veranderen, in casu voor een beweging te zeggen, wat men onder snelheid op zeker ogenblik verstaat.

Dat had geen enkele moeilijkheid gegeven, zolang men zich tot eenparige bewegingen had bepaald; men kon hier van *de* snelheid spreken en deze bepalen als het getal dat aangeeft, welke weg per tijdseenheid wordt afgelegd of ook als quotiënt van den afgelegden weg en den daaraan besteden tijd. Bij een niet-eenparige beweging gaat dat echter niet meer, omdat niet in elke tijdseenheid een even grote afstand wordt afgelegd en het quotiënt van weg en tijd zowel afhangt van de grootte van het beschouwde tijdvak als van het tijdstip waarop het begint. Men kan nu alleen nog maar voor een tijdvak Δt, dat ten tijde t begint, het quotiënt $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ vormen, waarin Δs den in dat tijdvak afgelegden weg voorstelt,

en dit de gemiddelde snelheid over dat tijdvak noemen; deze hangt dan echter zowel van *t* als van Δ *t* af. Wanneer men nu echter, *t* vasthoudend, Δ *t* tot nul laat naderen, blijkt voor alle bewegingen die in de mechanica voorkomen, het differentiequotiënt $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ tot een limiet te naderen, die men het differentiaalquotiënt van *s* naar *t* ten tijde *t* (geschreven *ds*/*dt* of de fluxie van *s* (geschreven *ṡ*) noemt en deze grootheid wordt nu per definitie de instantane snelheid ten tijde *t* genoemd. Zij geeft dus niet aan, welke weg in de ten tijde *t* beginnende tijdseenheid zal worden doorlopen of in de dan eindigende tijdseenheid doorlopen is, maar ze drukt uit, hoe *s* ten tijde *t* bezig is te veranderen.

47. Dezen in onzen tijd reeds lang elementair geworden gedachtengang heeft de mechanica eerst in de zeventiende eeuw ten koste van veel moeite leren volgen en het heeft tot in de negentiende geduurd, voordat de wiskunde er in geslaagd is, er een exacte fundering voor te geven. Daardoor is een verheldering van het denken bereikt, die voor de ontwikkeling van de natuurwetenschap een onschatbare betekenis gehad heeft en die tot de belangrijkste resultaten mag worden gerekend waartoe het wetenschappelijk denken ooit gekomen is. In den tijd waarin Leonardo zijn aantekeningen te boek stelde, was er echter van dit exacte inzicht nog geen sprake: gemiddelde snelheid en instantane snelheid werden niet onderscheiden en verwarringen tussen beide waren aan de orde van den dag.

Het is duidelijk, dat het probleem, hoe men een instantane veranderlijkheid door een getal moet karakteriseren, zich niet alleen voordoet bij grootheden die van den tijd afhangen. Wanneer men een grootheid *y*, die van een onafhankelijk veranderlijke *x* afhangt, door een kromme in een coördinatenstelsel graphisch voorstelt, leidt de vraag naar de helling van de kromme in een zeker punt tot een volkomen analoog probleem. Men kan die helling namelijk omschrijven als helling van de raaklijn in dat punt en de richting hiervan bepalen als $\operatorname{Lim}_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$, welke limiet weer als *dy*/*dx* geschreven wordt. Het raaklijnprobleem voor een kromme blijkt mathematisch identiek te zijn met het snelheidsprobleem voor een beweging.

Het is niet moeilijk in te zien, waarom het zo lang heeft moeten duren, voordat men deze problemen heeft leren oplossen. Er zit iets paradoxaals in, te willen aangeven, hoe een grootheid op zeker tijdstip of in zeker punt bezig is te veranderen, terwijl toch het begrip verandering noodzakelijk vereist, dat er een zeker tijdvak verloopt en het punt zich over een zeker interval verplaatst. Men heeft lang getracht, zich uit deze moeilijkheid te redden door te zeggen, dat men een oneindig klein tijdvak moest beschouwen of de abscis van het punt op de kromme een oneindig

kleine verandering moest geven, maar slaagde er niet in, te zeggen, wat die woorden betekenen. Eerst de invoering en exacte fundering van het limietbegrip heeft hier klaarheid gebracht en het werken met oneindig kleine grootheden overbodig gemaakt. Dat men daarbij het woord 'oneindig klein' is blijven gebruiken (men zegt van een grootheid die tot 0 nadert, d.w.z. die kleiner kan worden gemaakt dan een naar willekeur voorgeschreven positief getal, dat zij oneindig klein wordt) is een uitvloeisel van de wiskundige gewoonte om de begrippen die men scherp heeft leren bepalen, met dezelfde termen te blijven aanduiden die er voor werden gebruikt, toen men er nog slechts een vage voorstelling van had (zo b.v. de termen irrationaal en imaginair in de algebra). Het is een gewoonte die logisch volkomen verantwoord is, maar die bij den buitenstaander altijd weer tot misverstand voert.

48. Het boven behandelde stelt ons nu ook in staat, de eminente practische betekenis te beseffen, die het door Oresme ingevoerde begrip van de graphische voorstelling (II: 125-131) voor de mechanica gehad heeft in den tijd, waarin het begrip differentiaalquotiënt nog slechts in staat van wording verkeerde. In een graphiek van den weg *s* als functie van den tijd *t* krijgt namelijk de instantane snelheid *ds*/*dt* de meetkundige betekenis van richtingscoëfficiënt van de raaklijn in het punt van de kromme met abscis *t*. Nu laten zich een raaklijn en haar richting intuïtief duidelijker voorstellen dan de limiet van een quotiënt, waarvan teller en noemer beide tot nul naderen. De graphische voorstelling schiep dus de mogelijkheid, het begrip instantane snelheid meetkundig aanschouwelijk te maken en op grond daarvan kinematische inzichten te verwerven die langs den weg der analyse nog onbereikbaar waren. Dit was vooral van groot belang in een tijd, waarin de algebraïsche symboliek, die voor het tot stand komen van de differentiaalrekening onontbeerlijk was, nog in de kinderschoenen stond.

De geleidelijke invoering van wat men de wiskunde der veranderlijkheid kan noemen, in het tijdvak dat met Oresme begint en bij Newton en Leibniz een voorlopige afsluiting zal krijgen, beduidt het inslaan van een richting die onherroepelijk weg voert uit de spheer der antieke wiskunde. Zij vormt een eerste symptoom, dat de leiband der Oudheid, die het mathematisch denken tot nu toe behoed had voor veel gevaren, maar ook voor veel geluk (het geluk namelijk om nieuwe gebieden te ontsluiten) langzamerhand wordt losgelaten. Voor de strenge antieke mathesis, geboren uit den geest der Platonische wijsbegeerte, waarin de ware realiteit het kenmerk der onveranderlijkheid bezit, was een wetenschappelijke behandeling van de veranderlijkheid als zodanig ondenkbaar geweest. Het was een der grote taken waarvoor het denken der Renaissance zich geplaatst zag, om, na zich eerst het wiskundig inzicht der Oudheid eigen te hebben gemaakt, de grenzen die het aan den groei der mathesis gesteld

had, te overschrijden, en daardoor niet alleen het vak zelf tot een onvermoede hoogte op te voeren, maar het tevens dienstbaar te maken aan de natuurwetenschap.

49. Wij hebben tot dusver voornamelijk gesproken over die gedeelten van Leonardo's aantekeningen over dynamische onderwerpen waarin bij eigen wegen bewandelt. Er zijn echter andere, die, evenals dat met zijn statische onderzoekingen het geval was, meer als schakel in een lange ontwikkelingsketen dan als nieuwe opzet fungeren. Men moet zich namelijk Leonardo wel als een autodidactischen, maar vooral niet als een autochthonen denker voorstellen. Hij heeft veel gelezen: op het gebied der statica kent hij werken van Archimedes en de geschriften uit de school van Jordanus Nemorarius; inzake dynamica is hij vertrouwd met Aristoteles en zijn commentatoren, van wie hij o.m. Albert van Saksen met name citeert.

Van al de hierdoor ondergane invloeden geven zijn geschriften overvloedig blijk. Het valt al spoedig op, dat hij onvoorwaardelijk instemt met de betrekking tussen de kracht die een lichaam in beweging brengt en de constante snelheid die het daardoor verkrijgt, waaraan men den naam van grondwet der peripatetische dynamica pleegt te hechten. Wij wezen er reeds eerder op (I: 35), hoe volkomen aannemelijk deze door de nieuwere natuurwetenschap als oerzonde der mechanica ontmaskerde wet aanvankelijk in het licht van de dagelijkse ervaring heeft moeten lijken; het feit, dat een zelfstandige geest als Leonardo, wiens denken niet door een wetenschappelijke opleiding in een vast spoor geleid was, haar zonder een zweem van twijfel of kritiek aanvaardt, bevestigt dat nog eens met alle gewenste duidelijkheid. Meer dan eens schrijft hij haar op, in de volle uitvoerigheid waartoe de geringe ontwikkeling van de wiskunde der functionele afhankelijkheid de physici in dien tijd nog noodzaakte en nog lang zou blijven noodzaken: Als een kracht een lichaam in zekeren tijd over zekeren weg verplaatst, zal dezelfde kracht de helft van dat lichaam in denzelfden tijd over het dubbele van dien weg verplaatsen. Of dezelfde kracht zal de helft van dat lichaam over den gehelen weg in de helft van den tijd verplaatsen. En de helft van de kracht... en zo voort, tot zeven beweringen toe, die men later zou leren samenvatten in een betrekking als:

$$K = c.\ T.V.$$

waarin K de bewegende kracht, V de snelheid en T een met het gewicht evenredigen weerstand aanduidt, waarmee het lichaam zich verzet tegen pogingen om het in beweging te brengen.

50. Volgt hij in deze dus met de gehele Scholastiek en, kunnen we er reeds dadelijk bijvoegen, alle physici tot in de zeventiende eeuw toe, de oorspronkelijke leer van Aristoteles, zo blijkt hij in de theorie van den worp een aanhanger te zijn van de van het orthodoxe peripatetisme afwijkende impetustheorie der Terministen, die hij echter omvormt in den

zin van de dynamische beschouwingen, die Cusanus in zijn werk *De Ludo Globi* (Over het balspel) ontwikkeld had; hij onderscheidt met de eersten in de beweging van een verticaal omhoog of zijdelings weggeworpen projectiel drie phasen, waarvan de eerste uitsluitend door den meegedeelden impetus en de tweede door het conflict van impetus en zwaarte beheerst wordt, maar volgt in de behandeling van de derde phase voor het geval van een over den grond weggeslingerd lichaam de mening van den kardinaal, dat het thans de geometrische vorm van het projectiel is, die de baan bepaalt[35].

C. De traditie der Parijse mechanica[36]

51. De klassieke natuurwetenschap zal te zijner tijd geboren worden uit een geest van verzet tegen de als neerdrukkende macht gevoelde autoriteit van Aristoteles. Dat te weten wekt bij de studie van den tijd van haar voorbereiding in de eerste plaats belangstelling voor de lotgevallen van die scholastieke theorieën waarin reeds iets van een kritische gezindheid ten aanzien van zijn natuurwetenschappelijk denken tot uiting was gekomen of waarin denkbeelden waren ontwikkeld die het oorspronkelijke stelsel niet gekend had.

Vervolgt men van dit gezichtspunt uit de traditie van de impetustheorie, dan komt men voor verrassingen te staan. In de eerste plaats blijkt het, dat de tijdgenoten der Terministen en de na hen komende generaties hun denkbeelden over de oorzaak van het voortduren van de beweging van een projectum separatum helemaal niet als iets zo revolutionnairs hebben beschouwd als men ze later, het verdere verloop der geschiedenis kennend, in hun qualiteit van symptoom van oppositie tegen Aristoteles onwillekeurig is gaan zien. De impetustheorie heeft haar voorstanders, die er in mondelinge en schriftelijke discussie adhaesie aan betuigen, en haar tegenstanders, die haar onder de te bestrijden meningen opsommen om haar daarna met klem van argumenten te weerleggen, maar dat was nu eenmaal in de Scholastiek de normale gang van zaken: het universiteitsbedrijf leefde van de volledigheid in het registreren en beoordelen van denkbeelden. Zij wordt bekend aan de verschillende in de veertiende eeuw gestichte Duitse universiteiten, waarvan de eerste leiders hun eigen opleiding te Parijs ontvangen hadden en ze beleeft zelfs in het begin van de zestiende eeuw een periode van nieuwen bloei in de plaats van haar herkomst, waarin het voor verscheidene geschriften van haar veertiende-eeuwse grondleggers tot uitgave in boekvorm komt. Van een noemenswaarde verdere ontwikkeling van haar inhoud is daarbij echter geen sprake.

Intussen heeft zich dan echter reeds het merkwaardige verschijnsel voorgedaan, en in de zestiende eeuw zal het zich blijven vertonen, dat de officiële wetenschap der universiteiten de theorie, die aanvankelijk zo

scherp scheen af te wijken van het orthodoxe Aristotelisme, langzamerhand rustig begint te assimileren om haar ten slotte als legitiem bestanddeel der schoolleer te beschouwen. Men zoekt en vindt op verschillende wijzen een compromis of houdt zelfs vol, dat Aristoteles toch eigenlijk ook al had geleerd, dat aan een weggeworpen lichaam een beweegkracht wordt ingeprent. Wanneer men dan bij Scaliger impetus gedefinieerd vindt als een vorm, meegedeeld aan het in beweging gebrachte lichaam, die daarin kan blijven bestaan na verbreking van het contact met den oorspronkelijken motor, klinkt dat al volkomen Aristotelisch. En wanneer aan het eind van de zestiende eeuw de theorie aanvaard wordt door de Spaanse en Portugese Jezuïeten en in gezaghebbende werken als die van Suarez en de Conimbricenses wordt geleerd, blijkt ze volledig in het bezit van de school te zijn overgegaan.

52. Enigszins anders is het met Oresme's leer van de latitudines formarum gelopen. In den oorspronkelijken vorm waarin hij haar had opgesteld en waarin aan de configuratie als zodanig een reële betekenis was gehecht, heeft zij zo goed als geen bekendheid verworven, zoals zijn werken in het algemeen weinig de aandacht schijnen te hebben getrokken. Daarentegen heeft het veertiende-eeuwse geschrift *De latitudinibus formarum*, waarin met weglating van alle speculatieve elementen een samenvatting wordt gegeven van het zuiver mathematische bestanddeel van Oresme's eigen verhandeling, een zeer grote verspreiding, eerst in handschrift en later in druk, gevonden en de anonyme auteur is als *Auctor de latitudinibus* bekender geworden dan Oresme zelf. Door de jongste onderzoekingen van A. Maier is intussen de identiteit van dezen Auctor komen vast te staan: het is een Italiaanse Augustijner Eremiet geweest, Jacob van Sint Martinus, ook Jacob van Napels genoemd, die voor het voortbestaan van Oresme's methoden zorg heeft gedragen.

In den tijd tussen het verschijnen van zijn verhandeling en de eerste vruchtbare toepassing die het daarin geleerde in handen van Galilei, Beeckman en Descartes zou vinden, heeft de theorie der latitudines niet de minste uitbreiding ondergaan en heeft ze in geen enkel opzicht de natuurwetenschap helpen vooruitbrengen.

Dat behoeft ons niet te verwonderen. De leer der graphische voorstelling leent er zich wel toe om als zodanig, dus onafhankelijk van de vraag wat er voorgesteld wordt, theoretisch behandeld te worden, maar vereist daartoe een peil van ontwikkeling der wiskunde dat in de vijftiende en zestiende eeuw nog lang niet bereikt was. En men kan er wel heel veel mee doen voor het aanschouwelijk voorstellen van meetbare functionele afhankelijkheden en voor meetkundige oplossing van vraagstukken die men langs analytischen weg niet of nauwelijks de baas kan, maar dan moet men eerst over zulke afhankelijkheden beschikken en zulke vraagstukken kunnen stellen; echter was de physica daartoe nog lang niet ver genoeg in quantitatief-empirische richting ontwikkeld

en nog lang niet voldoende mathematisch georiënteerd. Ook moet aan het oplossen van problemen het besef, dat er een probleem bestaat, voorafgaan en de soort van vragen die de nieuwere natuurwetenschap zichzelf voor zou gaan leggen, lag nu eenmaal nog buiten den algemenen wetenschappelijken gezichtskring.

Dit alles neemt niet weg, dat Oresme's leer der latitudines in den vorm dien Jacob van Napels er aan gegeven had, wel steeds is blijven voortleven. Aan sommige universiteiten was ze leervak, al maakte ze dan ook geen deel van de examenstof uit. Bovendien blijken echter talloze handschriften en later gedrukte werken, waarvan de inhoud zich daartoe leende, met figuren zoals Oresme ze had leren ontwerpen, geïllustreerd te zijn. Meer dan illustraties zijn het echter niet en men kan ze dan ook ontberen; ze begeleiden redeneringen en berekeningen die ook zonder die figuren wel gehouden en gemaakt hadden kunnen worden. Evenals in de dynamica is ook hier het wachten op de geniale handen die de potentieel aanwezige geestelijke rijkdommen tot actueel bestaan zullen voeren.

D. De mechanica in de zestiende eeuw[37]

53. Na wat we boven in het algemeen hebben opgemerkt over het voortleven van de denkbeelden der impetustheorie en haar geleidelijke versmelting met de peripatetische natuurphilosophie, is het voor ons doel weer niet nodig, in details na te gaan, welk aandeel zij en welk de orthodox-Aristotelische opvatting (die trouwens zelf in de Scholastiek nog weer onderwerp van talrijke interpretatiediscussies was geweest) bij verschillende auteurs in de verklaring van de fundamentele bewegingsverschijnselen van val en worp gehad heeft. Wij zullen dus slechts enkele algemene opmerkingen over de behandeling van deze verschijnselen in de zestiende eeuw maken; het onderwerp verdient onze aandacht wel; meer toch dan een ander heeft de leer van val en worp het wetenschappelijke milieu bepaald, waarin straks de radicale vernieuwing zal plaats hebben.

Voor de leer van de valbeweging is het hierbij niet zozeer van belang te weten, op welke verschillende manieren men al zo getracht heeft, het feit van den val te verklaren en de oorzaak van de aangroeiing van de snelheid op te sporen, als wel te begrijpen, welke principiële moeilijkheden hier aan het doordringen van nieuwere juistere inzichten in den weg stonden.

Het zijn er voornamelijk twee geweest, die onderling samenhangen. Vooreerst de schijnbaar zo plausibele, maar in feite zo volkomen onjuist gebleken gedachte, dat aangezien lichamen vallen doordat ze zwaar zijn, zij zeker ook wel des te sneller zullen vallen, naarmate ze zwaarder zijn; en vervolgens de evenzeer voor de hand liggende, maar niettemin uit een

oogpunt van methode verderfelijke gewoonte, het valverschijnsel altijd te beschouwen in de volle complicatie waarin het zich in de onopzettelijke dagelijkse waarneming van vallende lichamen voordoet en dus den invloed van het medium als een essentieel kenmerk te beschouwen inplaats van er slechts een storenden factor in te zien.

Op beide punten lag het denken nog steeds onder den langzamerhand loodzwaar geworden druk van het Aristotelische stelsel van natuurwetenschap, waarin de valsnelheid evenredig was gesteld met het gewicht van het vallend lichaam en omgekeerd evenredig met de dichtheid van het medium en dat niet bij wijze van een geïsoleerde, slechts de physica betreffende empirische wet, die bij gebleken onjuistheid evengoed door een andere vervangen kon worden, maar als een essentieel bestanddeel van een wereldomvattend, in de diepste gronden der wijsbegeerte wortelend natuurbeeld.

54. Wanneer we, vooruitlopend op den gang der ontwikkeling, tegenover deze Aristotelische denkbeelden de zienswijze plaatsen die de natuurwetenschap op den duur als de juiste zou erkennen, zal het ons duidelijk worden, welk een klove die twee scheidt en hoeveel moeite het heeft moeten kosten, haar te overbruggen. De klassieke physica leert, dat men eerst den val van een stoffelijk punt in vacuo moet beschouwen (voor peripatetische opvatting reeds een onmogelijke eis, omdat het vacuum niet bestaat); ze stelt vast, dat de valsnelheid daar (geheel in strijd met de dagelijkse waarneming) onafhankelijk is van het gewicht en verklaart dat door de onderstelling, dat de massa van het stoffelijk punt (een daaraan eigen grootheid die de uitwerking van een er op werkende kracht bepaalt) evenredig is met het gewicht (een raadselachtig verband, dat steeds weer er toe zal verleiden, massa en gewicht te verwarren); vervolgens laat ze zien, dat een op een stoffelijk punt werkende kracht van constante grootte en richting niet, zoals de peripatetische dynamica leerde, een eenparige, maar een eenparig veranderlijke beweging veroorzaakt, hetgeen ze verklaart met behulp van een in het stoffelijk punt zetelend vermogen, in een eenmaal verworven beweging te volharden, een gedachte die lijnrecht in strijd is met het causaliteitsbegrip der Aristotelische wijsbegeerte, dat voor elke beweging een van het mobile te onderscheiden motor eist, maar die daarmee tot op zekere hoogte kan worden verzoend door dat volhardingsvermogen te beschouwen als de uiting van een aan het stoffelijk punt ingeprenten, als inwendigen motor fungerenden impetus. En ten slotte leidt ze langs wiskundigen weg af, dat de in vrijen val uit rust doorlopen weg evenredig is met het quadraat van den sedert het begin der beweging verlopen tijd.

Eerst daarna spreekt ze over valbeweging in pleno en vat deze op als het resultaat van de storingen die de in een medium door het lichaam ondervonden opwaartse kracht en de weerstand dien het medium tegen zijn doorklieving biedt, in het ideale valverschijnsel teweegbrengen.

Echter blijkt het rekening houden met dien weerstand reeds dadelijk tot aanzienlijke mathematische moeilijkheden te voeren. De weerstand blijkt namelijk afhankelijk te zijn van de instantane snelheid, waarvan de grootte echter op ieder ogenblik weer mede wordt bepaald door de weerstanden die het punt op alle voorafgaande ogenblikken heeft ondervonden en die op hun beurt weer bepaald waren door de toen bereikte snelheden, een in zijn algemeenheid onoplosbaar probleem, dat eerst vatbaar wordt voor mathematische behandeling, wanneer men een bepaalde betrekking van afhankelijkheid tussen weerstand en instantane snelheid aanneemt. Wanneer men nu tenslotte nog bedenkt, dat het vallend lichaam tot dusver als stoffelijk punt is beschouwd, zodat men wel weet, wat zijn zwaartepunt doet, maar niet welke bewegingen het zelf nog weer om dat zwaartepunt uitvoert, en dat voor het onderzoek hiervan de kennis van de dynamica van het vaste lichaam vereist wordt, dan wordt ten eerste duidelijk, hoe ontzaglijk gecompliceerd natuurverschijnselen die we dagelijks om ons heen spontaan zien verlopen, in werkelijkheid zijn, vervolgens, dat de natuurwetenschap ons steeds slechts een uiterst vereenvoudigd beeld van die werkelijkheid voor ogen kan voeren, waarin bovendien van allerlei storende omstandigheden is geabstraheerd en tenslotte, hoe machteloos de physica der zestiende eeuw tegenover een dergelijk probleem moest staan en hoezeer de wegen, die zij bewandelde (behandeling in woorden, beschouwing van het verschijnsel in zijn volle complicatie en concrete bepaaldheid, opvatting van storende factoren als essentiële) juist in tegen-overgestelde richting moesten leiden dan waar tenslotte iets van een juist inzicht bereikt zou worden.

55. Daartoe werkte natuurlijk ook een tekort aan empirisch onderzoek mee; slechts de alleroppervlakkigste waarneming van het valverschijnsel - een omlaag dwarrelend blad vergeleken met een vallenden steen - kan den schijn wekken, dat zwaardere lichamen sneller vallen dan lichtere, waarbij nog de onderstelling van een evenredigheid tussen valsnelheid en gewicht geheel uit de lucht gegrepen wordt; dat echter een steen van dubbele grootte denzelfden afstand in tweemaal zo korten tijd zou afleggen, kan nooit iemand hebben geloofd die zijn ogen ook maar even den kost gaf.

Het blijkt nu ook, dat deze bewering in den loop der jaren telkens tegengesproken is. In de zesde eeuw had Philoponos haar juistheid al in ronde woorden op grond van proefneming ontkend en uit de zestiende zijn verscheidene gevallen bekend, waarin lang voor Galilei (wien een hardnekkige legende de prioriteit van de ontdekking nog maar steeds blijft toekennen) is geconstateerd, dat de Stagiriet in deze geheel bezijden de waarheid was. Zulk een vaststelling had dan echter helemaal niet de vèrstrekkende consequenties, die ze in het oog van een hedendaagsen physicus had behoren te hebben. Men verovert een vesting niet door een lossen steen in den muur aan te wijzen en zo was er voor het omverwerpen van

het Aristotelische bolwerk ook heel wat meer nodig dan den Stagiriet op een onjuiste bewering te betrappen. De officiële wetenschap demonstreert dat in deze tijden van beginnenden twijfel aan haar gezag door een merkwaardige onaandoenlijkheid aan den dag te leggen ten aanzien van feiten die met haar stelsel van natuurbeschouwing in strijd bleken te zijn. Dat stelsel leek zo vastgegrond in de natuur der dingen, dat een feit als de ontdekking van Amerika met al de daaraan verbonden, in ons oog verwoestende consequenties voor de geographie, de geophysica, de ethnologie en zelfs de theologie van die dagen, met even grote gelijkmoedigheid werd geaccepteerd en genegeerd als de voor de peripatetische mechanica zo pijnlijke waarneming, dat een loden bol den grond niet eerder bereikt dan een houten, dien men op hetzelfde ogenblik op dezelfde hoogte heeft losgelaten. Niet geïsoleerde feiten zouden het zijn, die de Aristotelische natuurwetenschap ten val brachten, maar een radicale verandering in de methode, waarmee de studie der natuurverschijnselen werd bedreven.

56. Men kan veilig zeggen, dat die verandering zich, wat val en worp betreft, in Galilei voltrekt; aangekondigd wordt ze voor het eerste verschijnsel echter in het werk *Diversarum Speculationum mathematicarum et physicarum Liber* van den Venetiaansen wiskundige Giovanni Battista Benedetti. De principiële bestrijding die de valwet van Aristoteles in dit boek ondervindt, verwijdert den auteur weliswaar niet zover van den Stagiriet als hij zelf meent - ook Galilei zal nog sterker onder zijn machtigen invloed staan dan hijzelf zou hebben willen toegeven - maar ze bevat toch verscheidene elementen die van een veranderden geest van natuuronderzoek getuigen en doet een eersten stap in de richting van de overwinning der boven aangewezen fundamentele moeilijkheden.

Men vindt dezen in de terecht befaamde, maar ten onrechte aan Galilei als oorspronkelijke vondst toegeschreven redenering, waardoor in een gedachtenexperiment bewezen wordt, dat voor lichamen van hetzelfde soortelijk gewicht de valsnelheid in vacuo niet evenredig kan zijn met het gewicht. Benedetti denkt zich daartoe twee congruente lichamen van eenzelfde stof die naast elkaar over een zekeren afstand vallen en die dezen uiteraard in denzelfden tijd doorlopen, door een verbinding van te verwaarlozen gewicht tot één samengevoegd. Het is ondenkbaar, dat daardoor iets aan hun valbeweging zou kunnen veranderen. Echter is er door hun verbinding een lichaam met tweemaal zo groot gewicht ontstaan, dat volgens de physica van Aristoteles den gegeven afstand in de helft van den tijd zou moeten doorlopen. Het alleropmerkelijkste in deze even eenvoudige als vernuftige redenering is wellicht nog het juiste inzicht, dat zij alleen opgaat voor lichamen van dezelfde stof; men kan er bij voorbeeld niet mee aantonen, dat de valtijd over een gegeven afstand in vacuo niet omgekeerd evenredig zou kunnen zijn met het soortelijk gewicht, een onderstelling die Galilei later zal maken.

Met het oog op de verdere ontwikkeling van de mechanica is het nog

van belang op te merken, dat men in Benedetti's werk een duidelijke formulering aantreft van de door Buridan aangegeven verklaring van de versnelling der valbeweging met behulp van de impetustheorie: de impetus (die met de snelheid evenredig wordt gedacht) groeit gestadig aan, omdat de in het lichaam zetelende bewegingsoorzaak voortdurend nieuwen impetus voortbrengt en - aldus de verzwegen praemisse, die de conclusie eerst rechtvaardigt - de eenmaal verkregen impetus behoudens uitwendige oorzaken van vermindering, zoals de luchtweerstand, behouden blijft. Deze gedachtengang vertoont reeds een aanzienlijke mate van overeenstemming met het gronddenkbeeld der klassieke dynamica, dat als resultaat van de werking van een constante kracht een eenparig veranderlijke beweging ontstaat; zij verschilt daarvan alleen in dit opzicht, dat daarin de kracht gedacht wordt als een uitwendige invloed inplaats van als een inwendig bewegend vermogen. Bedenkt men, dat dezelfde verklaring van de versnelde valbeweging in het midden van de zestiende eeuw voorkomt bij Scaliger, wiens denken geheel gevoed wordt door de peripatetische traditie, terwijl ze enkele decennia later aan te treffen zal zijn in geschriften die reeds tot de periode van de klassieke natuurwetenschap kunnen worden gerekend, dan springt de onafgebroken band die de Parijse Terministenschool met de nieuwere physica verbindt, in het oog. Opmerkelijk is nog, dat Benedetti als eerste uitdrukkelijk uitspreekt, dat de impetus die aan een lichaam is ingeprent, het steeds tot een rechtlijnige beweging aandrijft; dat men dus niet, zoals voor hem veelal gedaan was, een impetus voor draaiing van een voor rechtlijnigen voortgang kan onderscheiden. Benedetti noemt het voorbeeld van een aan een touw rondgeslingerden steen; op het ogenblik dat de steen het werptuig verlaat, drijft de ingeprente impetus het tot rechtlijnige beweging langs de raaklijn van den eerst doorlopen cirkel voort en dat de baan niet recht blijft, komt alleen omdat nu ook de zwaarte haar invloed doet gelden. Om deze opmerking verdient hij ook een plaats in de ontwikkelingsgeschiedenis van het traagheidsbeginsel der klassieke mechanica.

57. Het moet Benedetti voorts als grote verdienste worden aangerekend, dat hij, opnieuw als eerste, de volle consequentie trekt van het inzicht in de opwaartse kracht die een lichaam in een vloeistof of een gas ondervindt. Hij baseert er de verwerping op van de Aristotelische onderscheiding van zware en lichte lichamen en keert terug tot de oud-Griekse opvatting, dat alle lichamen zwaar zijn en een lichaam alleen licht lijkt doordat de opwaartse kracht het van zijn gewicht wint. In verband hiermee hecht hij niet de minste waarde aan de Aristotelische argumentatie tegen het vacuum. Hij ziet verder de noodzakelijkheid in, onderscheid te maken tussen de opwaartse kracht die een medium op een daarin geplaatst lichaam uitoefent en den weerstand dien het tegen zijn eigen verdeling door het vallend lichaam biedt, hoewel hij met dezen laatsten invloed nog niet op andere wijze rekening weet te houden dan door het formuleren

van een voorwaarde, die in verschillende gevallen de gelijkheid ervan moet waarborgen. Hoe zeer hij ondanks zijn vaak heftige kritiek op den Stagiriet nog onder invloed van het Aristotelische denken staat, komt wel heel duidelijk tot uiting, wanneer hij, na het gewicht met de opwaartse kracht verminderd te hebben, de valsnelheid met het verkregen verschil evenredig stelt.

58. Wij wezen boven (III: 35) reeds op de betekenis die de toepassing van artilleristische vuurwapenen in de vijftiende en zestiende eeuw voor de ontwikkeling van de mechanica heeft bezeten, doordat ze de aandacht richtte op den vorm van de kogelbaan en vragen deed rijzen over het verband tussen de grootte van de lading, het gewicht van het projectiel, de elevatie van den vuurmond en de schootsverheid. Over het meest gangbare denkbeeld inzake den baanvorm hebben we bij de bespreking van Leonardo al iets gezegd (III: 50) en toen de onderscheiding van de beweging in drie perioden leren kennen. Men kan deze driedeligheid met alle gewenste duidelijkheid afgebeeld vinden in een figuur van het in 1537 verschenen werk *Die geometrische Büxenmeisterey* van den Zwitser Walter Hermann Ryff[38]. Men ziet hierin den gewoonlijk aangenomen cirkelvorm van het middelste stuk en de rechtlijnigheid van de beweging in de derde periode, waarin de aanvankelijke impetus geheel verdwenen is en de zwaarte het lichaam nu in natuurlijke valbeweging omlaag voert.

De gehele theorie van de driedeligheid vormt een merkwaardig speculatief element in een overigens geheel empirischen tak van wetenschap, een typerend voorbeeld van het goede vertrouwen, waarmee men dergelijke, voor empirische controle toch volkomen onvatbare beweringen op grond van een theorie aanvaardde, misschien ook wel van het toch nog wel heel losse verband tussen wetenschap en practijk, waarin de eerste straffeloos dingen kon beweren die de tweede niet bevestigen kon en deze zich kon veroorloven die beweringen dan ook te negeren. Het is in dit verband tekenend, dat men op het titelblad van hetzelfde werk waarin de driedelige baan zo duidelijk getekend staat, een afbeelding kan aantreffen van een onder geschutvuur liggende belegerde stad, waarop de projectielen doorlopend gekromde banen beschrijven, die men heel goed voor parabolisch zou kunnen houden.

De geschetste toepassing van de impetustheorie op den worp had overigens de verdienste, dat zij in haar beschouwingen over de tweede periode, waarin impetus en zwaarte met elkaar strijden, een weg wees om althans iets van het verschijnsel te begrijpen, terwijl alle aan de ervaring ontleende gegevens over het verband der verschillende boven genoemde grootheden noodzakelijk zonder begrip onverwerkt naast elkaar moesten blijven staan. Tartaglia, de Italiaanse wiskundige van de zestiende eeuw, die zulk een belangrijke plaats in de geschiedenis der algebra bekleedt, komt daardoor in zijn *Quesiti et Inventioni Diverse* (1546) ook al tot de conclusie, dat aangezien die strijd zich doorlopend afspeelt, de gehele baan gekromd

moet zijn. Vermelding verdient nog de algemeen gedeelde, maar nog volkomen ongegronde overtuiging, dat de maximale schootsverheid op een horizontaal vlak bereikt wordt bij een elevatie van 45°, een resultaat, dat door de latere correcte theorie van de kogelbaan voor den worp in vacuo bevestigd zou worden.

Eindnoten:

23 Duhem (1) I 122.
24 Duhem (4), Dijksterhuis (1), Hart, Herzfeld, Marcolongo, Olschki (1).
25 Olschki (1) 252, n. 1: Die Literatur über Leonardo's wissenschaftliche Forschung besteht zumeist aus Hyperbeln und Superlativen.
26 Hart 12, 76.
27 Leonardo-Lücke VII. Leonardo-MacCurdy I 43-44, 62.
28 Luca Pacioli-Winterberg. 33, 181.
29 Hierin slaagt MacCurdy I 18, 26, 82.
30 Vermeld Olschki (1) 241. De oorspronkelijke tekst bij E. Solmi, *Leonardo da Vinci* (Firenze 1900) 48.
31 Van de *Codice sul Volo degli Uccelli* (1505) geeft Hart een Engelse vertaling.
32 Leonardo-MacCurdy I 88-90. Leonardo-Lücke 494.
33 Leonardo-MacCurdy I 628. Leonardo-Lücke 473.
34 De oorspronkelijke teksten en nadere toelichtingen van de passages in § 43-45 bij Dijksterhuis (1).
35 Dijksterhuis (1) 152.
36 Duhem (4) III, Maier (3) (4).
37 Dijksterhuis (1).
38 Walter.

IV. De astronomie in den overgangstijd[39]

A. Astronomie

59. Bij de behandeling van de lotgevallen van dit vak in den overgangstijd moet men onderscheiden tussen hen die in den trant van Alpetragius en Cusanus speculatieve beschouwingen over den bouw van het wereldstelsel houden en hen die door uitvoering van waarnemingen en berekening van tafels de overeenstemming tussen de heersende theorie en de ervaring op de proef stellen en, waar dit nodig blijkt, verbeteren.

Bij een eerste beschouwing zal het wellicht menigeen toelijken, alsof het grote lijnen trekkende werk van de eerste categorie, dat in den regel in verband staat met algemene metaphysische en natuurphilosophische inzichten en beginselen, zich op een hoger geestelijk niveau beweegt dan de moeizame, door tal van materiële bezwaren bij de vervaardiging en hantering van de vereiste instrumenten belemmerde detailarbeid van de tweede. In werkelijkheid heeft echter de astronomie voor haar vooruitgang in deze periode aan de laatste alles, aan de eerste niets te danken. De niet empirisch controleerbare kosmologische speculatie was een onverantwoord en daardoor onvruchtbaar bedrijf: in de schijnbaar nuchtere waarnemingswerkzaamheid van haar technische beoefenaars handhaafde de astronomie echter den haar van oudsher toekomenden roem, vóór alle andere natuurwetenschappen te hebben beseft, dat werkelijke kennis van de natuur alleen door het systematisch verzamelen van zo exact mogelijk vastgestelde ervaringsfeiten te verkrijgen is en dat de voor het opstellen van verklarende of beschrijvende theorieën onontbeerlijke constructieve phantasie slechts dan niet op dwaalwegen leidt wanneer zij van dit feitenmateriaal uitgaat en de resultaten waartoe zij komt, weer onvoorwaardelijk aan den toets der empirie onderwerpt.

60. Wat de overgangsperiode tussen middeleeuwse en klassieke natuurwetenschap voor nieuws brengt op het gebied der speculatieve kosmologie ligt geheel in de lijn van oppositie tegen het stelsel van Ptolemaios, die door de in Spanje werkende peripatetische philosophen Averroës, Abubacer, Avempace en Alpetragius uit naam van de natuurleer van Aristoteles gevoerd was (II: 141-145). Ook in het oog van verscheidene Christelijke denkers verlenen de excenters en epicykels aan het wereldbeeld een te gekunsteld karakter en zijn de moeilijkheden die de gedachte aan hun physische realisering met zich meebrengt, te groot dan dat ze een hierop gebaseerd wereldstelsel voor een juist beeld van de structuur der werkelijkheid zouden kunnen houden. Een poging om er aan te ontkomen met behulp van een stelsel concentrische spheren doen in de eerste helft van de zestiende eeuw Girolamo Fracastoro en Giovanni Battista Amico en iets later Giovanni Delfino. Geen van drieën hebben ze echter de grondgedachte van hun theorie ver genoeg uitgewerkt om haar voor empirische

toetsing vatbaar en dus met het stelsel van Ptolemaios vergelijkbaar te maken. Dit laatste blijft het enige, dat er ernstig aanspraak op kan maken, de verschijnselen te redden.

61. Ook het denkbeeld om de dagelijkse hemelbeweging als een afspiegeling van een dagelijkse aswenteling van de aarde op te vatten, duikt in dezen tijd hier en daar op. Zoals we al gezien hebben, was de astronomische mogelijkheid van dit denkbeeld van Ptolemaios af wel algemeen ingezien; de bezwaren die er van oudsher tegen waren aangevoerd, waren steeds van physischen aard geweest en slechts nieuwe physische inzichten konden dan ook een nieuw gezichtspunt in de kwestie openen. Deze worden echter in een in 1525 verschenen werkje van Celio Calcagnini, waarin de aarde als midden in het heelal wentelend om een as en de hemel als rustend wordt aangenomen, niet ontwikkeld. Bovendien is er een omstandigheid, die aan zijn geschrift alle waarde ontneemt: hij acht namelijk de dagelijkse aswenteling van de aarde niet alleen in staat, de dagelijkse hemelbeweging te verklaren, maar hij wil er met behulp van de vage aanvullende hypothese, dat zij nu eens naar deze dan weer naar gene zijde helt, ook de bewegingen van zon, maan en planeten ten opzichte van de vaste sterren en de phasen van de maan uit afleiden.

62. De waarnemende astronomie werd in de vijftiende en zestiende eeuw voornamelijk in Duitsland beoefend. Toen Hendrik van Langenstein, ook bekend als Hendrik van Hessen de Oudere, in 1383 om redenen van politieken aard zijn universitaire loopbaan te Parijs moest beëindigen en, naar zijn vaderland terugkerend, medewerkte om de Universiteit te Weenen te stichten, legde hij daar door zijn eigen astronomisch werk den grondslag voor een traditie van exacte hemelobservatie, die in verscheidene Duitse steden navolging vond. In Weenen zelf leidde ze tot een hoogtepunt der voor-Copernicaanse astronomie in het werk van Peurbach en Regiomontanus, beiden sterrekundigen van grote betekenis, die wellicht de wetenschap nog veel meer bevorderd zouden hebben, wanneer ze niet op zo jeugdigen leeftijd, de eerste op zijn 38e, de tweede op zijn 40e jaar, overleden waren. Wat zij bereikt hebben, bestaat voornamelijk hierin, dat zij door hun uitleggingen het stelsel van Ptolemaios hebben verhelderd en algemeen bekend hebben gemaakt, maar tevens door hun waarnemingen onbetwijfelbaar duidelijk hebben aangetoond, dat het geen voldoende aansluiting aan de ervaring gaf.

Beiden leveren ze tevens een voorbeeld, hoe het humanisme, hoewel als geheel geenszins bevorderlijk voor de ontwikkeling der natuurwetenschap, in sommige van zijn vertegenwoordigers zich toch uitmuntend met een ernstige studie van de natuur liet verenigen. Peurbach gaf aanvankelijk te Weenen colleges in Latijnse poëzie en was vermaard om zijn eigen in het Latijn geschreven gedichten; eerst later kwam hij tot de astronomie en hij bleef hierin als humanist werkzaam, toen de kardinaal Bessarioon, een geboren Griek, die zich beijverde, de antieke wetenschap

tot nieuw leven te brengen, hem in 1460 uitnodigde, een commentaar op den *Almagest* samen te stellen. Toen zijn vroege dood in 1461 de voltooiing van dit werk verijdelde, nam Regiomontanus zijn taak over en daarmee werd de band tussen het humanisme en de astronomie nog hechter. Lange jaren heeft hij met den kardinaal in Italië doorgebracht, den *Almagest* verklarend en intussen handschriften van antieke werken opsporend en ontcijferend. Daarna heeft hij als een pionier van de jonge boekdrukkunst in een eigen drukkerij te Neurenberg naast andere werken van astronomischen aard de *Theoricae novae Planetarum* van zijn leermeester Peurbach, dat den neerslag van diens colleges te Wenen vormde, in boekvorm algemeen toegankelijk gemaakt en daardoor aan de Griekse astronomie de meest prominente plaats in het Westers wetenschappelijk denken verschaft die zij ooit bezeten had. Tot zover loopt zijn werkzaamheid parallel met die van de vele philosophen en letterkundigen die in de vijftiende en zestiende eeuw Helleense wijsheid en schoonheid in de Westerse cultuur hielpen doordringen. Zij verschilt er echter principieel van, doordat zijn eigen werk als astronoom duidelijk maakte, dat de Griekse wetenschap althans op dit gebied niet kon worden beschouwd als een ideaal voorbeeld, dat tot navolging kon inspireren, maar veeleer als een ontoereikende poging, die tot verbetering aanspoorde.

Het is Regiomontanus niet gegeven geweest, de verbetering, waarvan hij de wenselijkheid zo scherp besefte, tot stand te brengen. Men kan hem op zijn hoogst een zeker voorgevoel toeschrijven van de richting waarin ze gezocht zou moeten worden; hij wijst er namelijk met nadruk op, dat alle planeten zich in hun bewegingen op de een of andere wijze naar de zon richten, de drie buitenplaneten omdat hun voerstraal in den epicykel altijd evenwijdig loopt aan dien van de zon in haar baan om de aarde, de twee binnenplaneten, omdat het middelpunt van hun epicykel altijd op de lijn aarde-zon ligt. Meer dan een voorgevoel van de centrale positie die de zon in het stelsel van Copernicus zou gaan innemen, is dit echter nooit geworden.

Het werk dat Regiomontanus te Neurenberg als waarnemend astronoom verricht had, is na zijn vertrek in 1475, toen hij naar Rome werd ontboden om de kalenderhervorming voor te bereiden, voortgezet door den Neurenbergsen patriciër Bernhard Walther.

B. Gonio- en Trigonometrie[40]

63. Onverbrekelijk met de astronomie verbonden, uit haar behoeften ontstaan en omgekeerd haar bloei bevorderend, was intussen een tak der wiskunde die zowel voor deze zelf als voor haar toepassing in andere natuurwetenschappen van het grootste belang zou blijken te zijn, tot een hogen graad van ontwikkeling gekomen. Het is de uit Indisch-Arabischen

oorsprong ontsproten en door vertalingen van Arabische geschriften in Europa bekend geworden leer der goniometrische functies en haar toepassing in de vlakke en bolvormige driehoeksmeting.

Van het ogenblik af, dat de behandeling van de bolmeetkunde, die voor de astronomie vereist werd, bij de Grieken uit het zuiver meetkundige stadium waarin ze nog bij Theodosios verkeerde, in dat der berekening was overgegaan, was het noodzakelijk gebleken, inplaats van met hoeken en bogen te rekenen met lijnstukken, die hen bepalen en door hen bepaald worden. De Griekse wiskundigen hadden daarvoor de koorde gekozen, die een cirkelboog onderspant en waren er inderdaad in geslaagd, in hun koordenrekening het verlangde instrument voor de driehoeksmeting te scheppen. Later waren echter de Indische wiskundigen tot het inzicht gekomen, dat de techniek van de berekeningen eenvoudiger wordt, wanneer men daarin een boog zich niet laat vertegenwoordigen door de onderspannende koorde, maar door de helft van de koorde, die zijn tweevoud onderspant. Dit lijnstuk heeft later den Latijnsen naam van sinus verkregen (Fig. 12). De toepassingen die

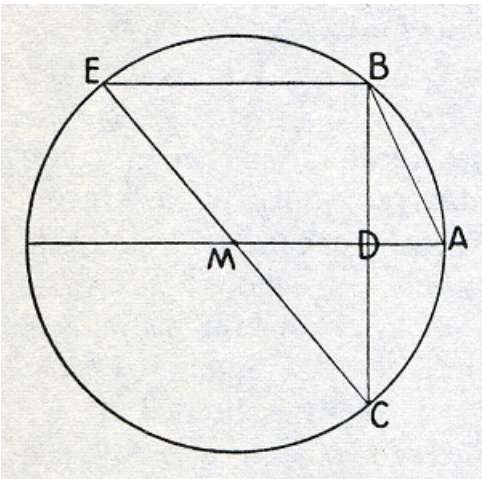


Fig. 12. De overgang van koordenrekening naar goniometrie. De boog *AB* wordt in de koordenrekening vertegenwoordigd door de koorde *AB*, in de goniometrie door *BD(sinus)* of *MD (cosinus)*. (Tegenwoordig verstaat men onder sinus(cosinus) van bg *AB* de verhouding van *BD (MD)* tot den straal van den cirkel, die eertijds de *sinus totus* heette).

dit nieuwe rekenmiddel in de driehoeksmeting bleek te bezitten, leidden er bovendien toe, bij iederen boog ook de helft van de koorde van het supplement van zijn tweevoud onder den naam cosinus als functie in te voeren.

64. Onafhankelijk van dezen gedachtengang gaven bepaalde waarnemings-instrumenten aanleiding om nog op andere wijzen een hoek door een lijn-stuk te bepalen. Is namelijk (Fig. 13a) *AB* een verticale staaf (gnomon) van gegeven lengte, waarvan de zon een schaduw *BC* werpt op een horizontaal plat vlak, dan is de lengte van *BC* een maat voor de hoogte α van de zon, die de *umbra recta* of *extensa* (rechte of gestrekte schaduw) van α heet. Later heeft *BC* den naam van cotangens van α gekregen, terwijl de hedendaagse wiskunde de verhouding *BC*/*AB* zo noemt. Men kan de staaf ook horizontaal opstellen (Fig. 13b) en haar schaduw op een verticaal vlak waar ze loodrecht op staat, meten. De lengte van de schaduw *BC* heet nu *umbra versa* (gedraaide schaduw) van de hoogte α, later tangens van α.

Het rekenen met deze vier functies sinus, cosinus, tangens en cotangens is door verscheidene Arabische wiskundigen, waaronder vooral al-

Battânî, Abu al-Wafâ en Nâsir al-Din al-Tûsî genoemd moeten worden, uitgewerkt en gesystematiseerd tot wat wij nu gonio- en trigonometrie noemen. Met de Arabische wetenschap overgenomen, werd ze in de veertiende en vijftiende eeuw gemeengoed der Westerse astronomen

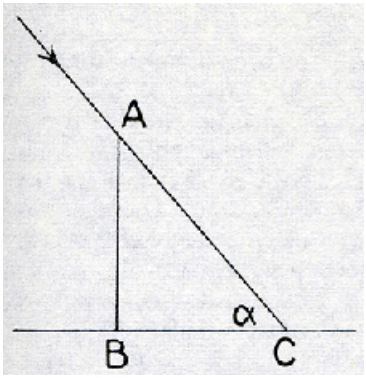
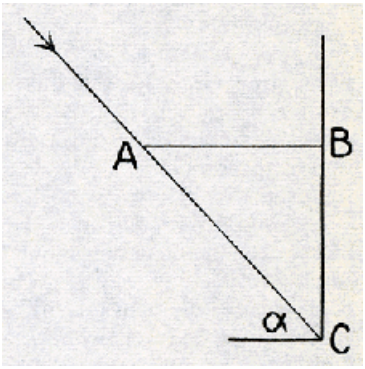


Fig. 13. a) De hoogte α van de zon wordt bepaald door de lengte *BC* van de schaduw van den gnomon *AB* op een horizontaal plat vlak. *BC* heet *umbra extensa*, later *cotangens* van α. (Tegenwoordig cot α = *BC*/*AB*).



b) De hoogte α van de zon wordt bepaald door de lengte *BC* van de schaduw van den gnomon *AB* op een verticaal plat vlak waar *AB* loodrecht op staat. *BC* heet *umbra versa*, later *tangens* van α. (Tegenwoordig tg α = *BC*/*AB*).

zonder nochtans voorlopig de hoogte te bereiken waarop ze bij de Oost-Arabieren had gestaan. Daarop is ze pas weer door Peurbach en vooral door Regiomontanus geheven.

65. De beoefening van de gonio- en trigonometrie is practisch niet mogelijk, wanneer men niet over tafels van de goniometrische functies beschikt. Deze zijn dan ook reeds door Arabische auteurs samengesteld en van hen in West-Europa overgenomen. Aanvankelijk werd daarin met een sexage-simale indeling van den sinus totus gewerkt, d.w.z. men drukte de goniometrische lijnstukken uit in zestigste delen van den straal, in zestigste delen van die zestigste delen enz., juist zoals wij tegenwoordig nog steeds naar het voorbeeld der Babyloniërs met hoeken en bogen doen. Regiomontanus heeft de wiskunde er echter tijdig voor behoed, zich ook in de goniometrie aan deze met de structuur van ons talstelsel strijdige gewoonte te houden. Hij is den sinus totus *R* (Fig. 12) gaan voorstellen door een macht 10^n, waarin *n* varieert van 5 tot 15, wat dus hierop neerkomt, dat hij sinus en tangens ging meten met $R/10^n$ als eenheid. Zij konden nu met voldoende nauwkeurigheid door gehele getallen worden uitgedrukt,

waarvan de betekenis echter eerst bepaald was, als men de waarde van *n* kende. Leest men b.v. in een tafel voor een hoek φ

sin φ = 3432756

en is *n* = 7, dan beduidt dat in onze tegenwoordige schrijfwijze:

sin φ = 0,3432756.

De waarde van *n* bepaalt dus het aantal decimalen waarin de functies worden opgegeven.

Het is duidelijk, dat in deze wijze van uitdrukken het denkbeeld van wat in de wandeling decimale breuken heten (eigenlijk positioneel geschreven decimale breuken) ligt opgesloten. Toch zou het nog tot het einde van de zestiende eeuw duren, voordat Simon Stevin het er in opmerkte, een methode aangaf om de waarde van elk cijfer kenbaar te maken zonder vermelding van *n*, de algemene toepasbaarheid van de nieuwe breuknotatie (die aanvankelijk alleen in de goniometrie was toegepast) aantoonde en de rekentechniek die zij mogelijk maakte, onderwees. Daardoor werd een zeer aanzienlijke vereenvoudiging in het rekenen bereikt, die ook de wiskundige natuurwetenschap zeer ten goede is gekomen.

Eindnoten:

39 Dreyer (2), Zinner (2).
40 Von Braunmühl.

V. De leer van de structuur der materie in den overgangstijd[41]

A. De theorie der minima naturalia

66. Het einde van de periode van voorbereiding van het ontstaan der klassieke natuurwetenschap wordt uiteraard bepaald door het tijdstip waarop dat ontstaan zelf begint. Het vormt nu echter een ernstige belemmering voor een ordelijke historische uiteenzetting, dat dit tijdstip zich voor sommige onderdelen heel scherp, voor andere daarentegen slechts zeer in het vage laat bepalen en dat het bovendien voor het ene vak zo veel later ligt dan voor het andere. De astronomie bezit een waar *annus mirabilis*, een onmiskenbaar begin van een nieuw leven, in het jaar 1543, de hydrostatica in 1586, de mechanica voor een deel in dat zelfde jaar, voor een ander in 1638. Voor de theorieën die de structuur der materie betreffen en die dus over onderwerpen handelen die later deels tot de physica, deels tot de chemie gerekend zullen worden, zou het echter heel moeilijk zijn, een bepaald jaar als beginpunt van een nieuwe beschouwingswijze te noemen en voor dit gedeelte van onze stof moet dan ook de begrenzing in den tijd, die dit hoofdstuk wil aanbrengen, veel minder scherp uitvallen dan ze voor de tot dusver behandelde onderwerpen althans aan den bovenkant kon zijn.

We kunnen wel zeggen, waaruit de vernieuwing, die op dit gebied ten slotte toch ook gekomen is, bestaat: zij wordt bewerkt door een herleving van de antieke corpusculairtheorieën en gevormd door de verdere ontwikkeling en toepassing daarvan. Wij zullen daarom het verhaal van de definitieve doorbraak van deze theorieën tot het volgende deel uitstellen en hier alleen spreken over auteurs die ze òf nog helemaal niet aanhangen, òf hun algemene en definitieve aanvaarding slechts helpen voorbereiden.

67. Evenals in de Middeleeuwen moet men ook voor de overgangsperiode onderscheiden tussen de denkbeelden over de structuur van de stof bij philosophen, die zich uitsluitend door wijsgerige gezichtspunten laten leiden en de meningen der chemici, die, hoewel natuurlijk door de heersende theorieën beïnvloed, toch ook rekening houden met de ervaringen die zij in hun laboratoria opdoen en er voor alles naar streven, hun voorstellingen met die ervaringen in overeenstemming te brengen.

In scholastieke kringen zijn tijdens de Renaissance nog steeds dezelfde kwesties aan de orde waarover we in de Middeleeuwen strijd zagen voeren en waaronder de vraag naar het wezen van de chemische binding en het al of niet voortbestaan van de elementvormen in den vorm der verbinding een belangrijke plaats innemen. De Paduaanse school, in deze als in andere aangelegenheden volgeling van Averroës, neemt met hem aan (II: 133), dat zij dit als het ware in verminderde intensiteit doen, maar werkt die gedachte in twee verschillende richtingen uit. De ene partij beweert,

dat de zijnsvorm van het mixtum niets anders is dan het aggregaat van de gereduceerde zijnsvormen der bestanddelen; de andere laat de verzwakte vormen gezamenlijk de materie praedisponeren tot de ontvangst van een eigen zijnsvorm. De gangbare formuleringen zijn, dat men spreekt van *mixtio sine* resp. *cun forma mixti superaddita* (verbinding zonder resp. met toegevoegden verbindingsvorm). Als vertegenwoordiger van de eerste richting wordt Zabarella vermeld, van de tweede Zimara.

In de Paduaanse school blijkt ook de theorie van de minima naturalia, die Averroë's naar aanleiding van enkele vrij vage uitlatingen van Aristoteles had opgesteld (II: 137), tot een grotere precisering te zijn gekomen. Het staat nog niet voldoende vast, hoe zij zich gedurende de Middeleeuwen heeft ontwikkeld, maar wel, dat zij in de geschriften van den ons reeds bekenden Agostino Nifo (III: 17) als een scherp omlijnde leer van de structuur der stof en het verloop van de chemische binding optreedt. Was het vóór hem altijd nog wat duister, of de minima slechts theoretische verdelingsgrenzen waren, die men in gedachte niet zou kunnen overschrijden, maar die ook nooit anders dan in gedachte bereikt konden worden, thans wordt duidelijk gezegd, dat zij actueel bestaan, dat stoffen die chemisch op elkaar inwerken, dat doen in hun wederzijdse minima en dat daardoor de minima van de verbinding tot stand komen.

68. Natuurlijk kan men hierbij dezelfde twijfelende vragen stellen, waartoe de scholastieke natuurwetenschap tegen het einde van haar dagen zo vaak aanleiding geeft, namelijk of men eigenlijk nog met zuiver Aristotelische denkbeelden te maken heeft, die nu pas behoorlijk worden toegelicht, of dat de authentieke uitlatingen van den Stagiriet door een eeuwenlange commentariëring langzamerhand gevuld zijn geworden met een inhoud dien ze in de Oudheid nooit bezeten hadden. Voor de beoordeling van de historische situatie in de zestiende eeuw doet dit echter niet zo heel veel ter zake. De strijd dien de nieuwere natuurwetenschap tegen de Aristotelische te voeren had, wordt er niet minder reëel om of men al kan aantonen, dat hij niet tegen den echten Aristoteles ging, maar tegen de Aristoteles-mythe der Scholastiek. Bovendien kan men dit bewijs moeilijk leveren: het werk van den Stagiriet is zo rijk aan duistere uitspraken, dat het zonder commentaar vaak moeilijk te begrijpen is en ten slotte zijn het daardoor altijd twee interpretaties die men onderling vergelijkt en niet een van hen, die getoetst wordt aan wat er werkelijk staat.

We hebben er reeds eerder op gewezen (II: 137), dat de Aristotelische theorie der minima naturalia in haar zestiende-eeuwse interpretatie, ondanks alle punten van gelijkenis met de Demokritische en Empedokleische corpusculairtheorieën, zich daarvan toch steeds op dit kardinale punt blijft onderscheiden, dat zij de kleinste deeltjes van een tot stand gekomen verbinding nooit zal kunnen zien als aggregaten van de minima der bestanddelen, maar altijd nog een wederzijdse inwerking van deze minima op elkaar moet postuleren, waardoor zij een innerlijke verandering

ondergaan; eerst daardoor kan de zijnsvorm der verbinding in het leven worden geroepen. Er kan dan verschil van mening over bestaan, in welke betrekking deze zijnsvorm tot die der elementen staat, maar zolang de eigenschappen van een verbinding niet eenvoudig de som of het gemiddelde zijn van die der samenstellende elementen, zal zij zich nooit kunnen verzoenen met de onderstelling, dat de minima der elementen in de verbinding onveranderd actueel voortbestaan, zodat men ze stuk voor stuk als het ware zou kunnen aanwijzen. Dit komt ondubbelzinnig tot uiting in een passage uit een geschrift der Conimbricenses, waarin gezegd wordt, dat Aristoteles de Atomisten niet bestreed om hun bewering, 'dat de elementen om zich met elkaar te verbinden, elkaar wederzijds afbreken en in het kleine samenkomen en dat de deeltjes van het ene zich aan die van het andere hechten', maar omdat zij 'gezegd hebben, dat de elementen zich alleen vermengen door het tegen elkaar aanleggen van de kleinste deeltjes; terwijl bovendien toch een wederzijdse inwerking van de elementen vereist wordt, waardoor een tempering van de eerste qualiteiten ontstaat, die de gunstige omstandigheden schept voor het ontstaan van den mixtum-vorm'[42].

Het blijkt nu echter wel, dat het voor chemici die in beginsel wel de Aristotelische zienswijze willen aanvaarden, maar die tegelijkertijd ook rekening willen houden met wat de laboratoriumervaring heeft geleerd, heel moeilijk is, dit essentiële principe steeds hoog te houden; zodra ze het echter uit het oog gaan verliezen, naderen ze onherroepelijk tot de Empedokleïsche corpusculairtheorie en in gevallen, waarin de qualiteiten der corpuscula niet ter zake doen, zelfs tot het Demokritisch atomisme.

Voordat we dit aan enkele voorbeelden gaan toelichten, zal het gewenst zijn, eerst nog kennis te maken met een chemicus die geheel vrij staat van de Aristotelische richting.

B. Paracelsus[43]

69. In de eerste helft van de zestiende eeuw wordt door het werk van Paracelsus een nieuw tijdperk in de geschiedenis der chemie geopend, dat men het iatro-chemische noemt: zij wordt hierin hulpvak voor de geneeskunde en krijgt dus een doel dat tegelijk nobeler en reëler is dan waarvoor ze bij de meerderheid der alchemisten had moeten dienen. Zij heeft van die nieuwe bestemming zelf in niet mindere mate geprofiteerd dan ze het de geneeskunde heeft laten doen. Echter interesseren ons hier niet zozeer haar eigen zakelijke vooruitgang en het nut van haar dienende functie als wel de denkbeelden over de structuur der materie waartoe ze in deze periode heeft geleid.

Met den zelfstandigheidsdrang en het onbegrensd vertrouwen op eigen geestelijke kracht die de denkers der Renaissance veelal kenmerken,

stelt Paracelsus zich onmiddellijk vijandig tegenover alle autoriteit in zijn vak, getuige de openlijke verbranding van de geschriften van Galenus en Avicenna, waarmee hij zijn loopbaan als hoogleraar te Bazel in 1526 begint. Natuurlijk belet zijn voornemen, slechts op eigen kracht te vertrouwen, hem niet, inspiratie uit het antieke denken te putten; het is alleen niet Aristoteles dien hij volgt, maar, in overeenstemming met den algemenen philosophischen geest der Renaissance, de deels neo-Platonisch, deels stoïcijns beïnvloede hermetische leer, die ongeveer in denzelfden tijd haar systematisering vindt in het werk van den mystieken natuurphilosoof Agrippa van Nettesheim.

70. Wij herinneren aan de vroeger (I: 106) reeds aangegeven grondmotieven van het hermetische denken: parallelisme van makro- en mikrokosmos, algemene sympathie en albezieling. Dat parallelisme was reeds dadelijk niet alleen geïllustreerd door met de indeling Logos-Nous-Heelal in het groot die van Geest-Ziel-Lichaam in den mens te laten corresponderen, maar ook al uitgebreid tot de metalen, waarin men een geestelijk, een zielig en een lichamelijk element aannam, die echter naar stoïcijnsen trant alle drie stoffelijk werden gedacht. Dezelfde gedachtengang, nader ondersteund door een verwijzing naar de H. Drieëenheid in de Christelijke theologie, leidt Paracelsus er toe, niet langer met Aristoteles vier elementen als bestanddelen van iedere stofsoort aan te nemen, noch de alchemisten te volgen in hun zwavelkwiktheorie der metalen, maar alle stoffen opgebouwd te denken uit drie principia, genaamd mercuur, sulfur en sal (kwik, zwavel en zout), waarvan, ontologisch gesproken, mercuur het actieve geestelijke, sal het passieve lichamelijke en sulfur het tussen beide bemiddelende principe voorstelt, terwijl, physisch-chemisch geformuleerd, het eerste het bestanddeel is dat bij verbranding in rook opgaat, het tweede de brandbaarheid aanbrengt en het derde als as achterblijft. Ook het menselijk lichaam is uit deze drie principia opgebouwd; hier bevordert sulfur den groei, bepaalt mercuur het vloeistofgehalte en geeft sal vorm en vastheid. Wij stuiten hier meteen op den grondslag van de iatro-chemische opvattingen van Paracelsus en van zijn overtuiging, dat de chemie geroepen is, om het verborgen werken der natuur te onthullen. Bij den mens hangt de gezondheid af van het evenwicht der drie principia, dat, verbroken, hersteld kan worden door geneesmiddelen die de chemie uit deze zelfde principia leert samenstellen. En al wat zij over het gedrag in de lagere wereld leert, onthult ons iets van de hogere.

71. De drie principia bestaan onveranderd voort in de chemische verbindingen die zij kunnen aangaan. Paracelsus acht dat vanzelfsprekend, blijkbaar op grond van het reeds eerder (II: 138) aangehaalde chemische axioma, dat wat in een verbinding is gegaan en er ook weer uit kan komen, er ook in zit. Echter voelt hij toch ook, dat een eenvoudig naast elkaar liggen van de bestanddelen de zelfstandigheid en het eigen karakter van de nieuw verkregen stof niet verklaart. Het is de overweging, die in het

Aristotelisme tot het probleem van de betrekking van den zijnsvorm der verbinding tot de elementvormen geleid had. Aan Paracelsus zijn alle hylemorphistische gedachtengangen echter vreemd en hij moet zich dus op andere wijze redden: in iedere stof neemt hij naast het drieledige materiële principe mercuur-sulfur-sal nog een meer geestelijk beginsel aan, den Archeus, dat echter toch ook weer op een verfijnde wijze stoffelijk gedacht wordt. Deze is het ordenend, het organiserend principe, dat wat anders een bloot aggregaat zou zijn gebleven, tot een eenheid samenbindt, en tevens het inwendig ontwikkelingsprincipe, dat de optredende chemische processen leidt en regelt. De materie wordt door het bezit van den Archeus op een lijn gesteld met het levend lichaam, waarin ook de drie principia door een levensbeginsel worden samengebonden en als zodanig onzichtbaar worden gemaakt. Paracelsus vergelijkt de werking van dit organiserend beginsel met die van een verf, die de stoffelijke bijzonderheden van een voorwerp verhult: wir sind geschnitzlet von Gott und gesetzt in die drey Substantzen. Nachfolgent übermahlet mit dem leben.

72. Wij zullen hier niet ingaan op de ongetwijfeld aanzienlijke verschillen die tussen het hylezoïsme (leer van de levende stof) van Paracelsus en het hylemorphisme van Aristoteles bestaan. Voor ons doel is het belangrijker, de aandacht op hun overeenstemming te vestigen, te letten op beider behoefte, tegenover de hyle (bij Paracelsus de drie substantiële principia, bij Aristoteles de pure potentialiteit van de prima materia, die nog substantie worden moet) een ander, levenwekkend, vormgevend, organiserend beginsel te plaatsen (den Archeus, resp. den zijnsvorm). Ondanks al hun verschillen verenigen ze zich in de afwijzing van de zuivere corpusculairtheorieën, die het verlangen om te begrijpen, hoe het geheel iets anders kan zijn dan de som van zijn delen, niet kunnen bevredigen.

Noch de ene, noch de andere van deze twee met een modernen term als holistisch te karakteriseren beschouwingswijzen heeft echter de uiteindelijke overwinning van de theorieën waaraan zij tegenstand trachten te bieden, kunnen beletten. Dat de Archeus-leer weinig uitwerking heeft gehad, moge gemakkelijk te verklaren zijn uit het feit, dat Paracelsus, mystiek en chaotisch verward als hij was, weliswaar een nieuwe richting in de chemie heeft geïnaugureerd, maar toch voor zijn meest persoonlijke denkbeelden weinig aanhangers heeft gevonden, des te opvallender is het, dat ook de vormtheorie, die toch een essentieel bestanddeel van de nog steeds overheersende philosophie was, de opvatting van een chemische verbinding als een aggregaat van onveranderd voortbestaande elementaire bestanddelen op den duur niet heeft kunnen tegenhouden. Het blijkt, dat haar eigen aanhangers medewerken aan haar ondergang, door het meest wezenlijke kenmerk van de Aristotelische opvatting van mixtio te veronachtzamen.

C. De afval van het Aristotelisme[44]

73. Zo zien we b.v. bij Scaliger het begrip mixtum zover uitbreiden, dat daaronder ook het z.g. crama, een mengsel van water en wijn, valt, hoewel hij tegelijkertijd erkent, dat daarin de water- en wijndeeltjes onveranderd actueel blijven voortbestaan. Hij waarschuwt nu weliswaar, dat hij dit niet bedoelt op de wijze van Demokritische atomen, die eenvoudig naast elkaar liggen en dat dus het crama iets heel anders is dan een mengsel van droge stoffen, zoals gerst en bonen. Als kenmerk van een mixtum ziet hij namelijk het wegvallen van de grenzen tussen de deeltjes der verschillende bestanddelen; de eenheid die ontstaat, is een eenheid door continuïteit. Het is echter niet duidelijk, hoe dit verstaan moet worden. Wanneer er een continu in elkaar overgaan bedoeld wordt, zoals de kleuren in een spectrum vertonen, wanneer men dus niet meer zeggen kan, waar een waterdeeltje ophoudt en een wijndeeltje begint, kan men bezwaarlijk van onveranderd voortbestaan spreken en wanneer met continuïteit alleen bedoeld wordt, dat er niet, zoals bij mengsels van droge korrels, nog iets tussen een deeltje van de ene en een van de andere stofsoort zit, maar dat ze onmiddellijk op elkaar volgen, lijkt het verschil met een gewonen acervus, zoals de opeenhoping van die korrels genoemd wordt, toch niet zo heel groot. In ieder geval wordt van inwendige verandering evenmin gerept als van een eigen zijnsvorm van het crama en op verscheidene plaatsen zou men dan ook evengoed een aanhanger van een der corpusculairtheorieën aan het woord kunnen wanen.

74. Hoe onweerstaanbaar zuivere Aristotelici zich in de armen van Empedokles en Demokritos gedreven voelden, blijkt wel het allerduidelijkst uit de moeite die de Duitse medicus en chemicus Sennert zich geeft om aan te tonen, dat de Aristotelische leer der minima naturalia en de corpusculairtheorieën helemaal niet zo ver van elkaar afstaan als wel beweerd wordt. Als chemicus redeneert hij zuiver Empedokleïsch: de qualitatief verschillende atomen der elementen behouden in de verbinding die ze vormen, elk hun eigen natuur, hun zijnsvorm. Om dan echter zijn wijsgerig geweten gerust te stellen, voegt hij er aan toe, dat die onveranderde zijnsvormen in de verbinding ondergeschikt zijn geworden aan een hogeren vorm; zij zijn, zoals de medicus Fernel het in de zestiende eeuw al had uitgedrukt, ‘ingewikkeld, gebonden en als het ware gevangen genomen door de aanwezigheid van een waardiger vorm’. Het is in wezen het standpunt van Avicenna (II: 133), dat door de scholatieke wijsgeren om zijn al te grote verwantschap met de corpusculaire opvattingen altijd eenstemmig verworpen was, maar dat bij de medici steeds in ere was gebleven, Sennert acht het onaannemelijk, dat Demokritos eigenlijk niet iets dergelijks bedoeld zou hebben en dat hij inderdaad zo dwaze denkbeelden over de atomen en het ontstaan der dingen zou hebben gehad als hem worden toegeschreven. Daaronder valt natuurlijk

de opvatting van een verbinding als aggregaat, die Sennert intussen practisch toch ook tot de zijne maakt. Want de redenering over de onderschikking van de zijnsvormen der elementen aan den hogeren vorm der verbinding blijft geheel los staan van zijn positief wetenschappelijk denken. Men ziet langzamerhand een nieuwe leer van dubbele waarheid geboren worden: een denkbeeld zal in de practijk der wetenschapsbeoefening bruikbaar kunnen blijken en onbekommerd gebruikt kunnen worden, zonder echter ook het kritisch wijsgerig verstand te bevredigen; wat hiervoor aanvaardbaar is, zal zonder uitwerking op de positieve wetenschap kunnen blijven.

75. In de zeventiende eeuw blijkt de scheiding tussen beide gebieden al zover voortgeschreden te zijn, dat men het vorm-begrip geheel uit de leer der chemische binding verdrijft en in het algemeen uit naam der positieve wetenschap de Aristotelische philosophie ronduit verwerpt. De medicus Basso publiceert in 1631 een werk, waarvan de titel *Philosophiae naturalis adversus Aristotelem libri* XII reeds niet den minsten twijfel aangaande zijn oordeel over den Stagiriet meer overlaat en waarin hij dan ook de noodzaak betoogt, in het denken over de structuur van de stof geheel terug te gaan tot de oudere Griekse denkers. De deeltjes der vier elementen bestaan onveranderd in de verbindingen voort en ook samengestelde deeltjes, zoals die der metalen, bezitten die eigenschap. Wij zullen ons, zegt hij, er niet het hoofd over breken, hoe het komt, dat we van hun individuele eigenschappen dan zo weinig meer merken. De ervaring bij de ontleding van stoffen dwingt ons tegen wil en dank het onveranderd voortbestaan aan te nemen[45]. In denzelfden zin spreken andere schrijvers uit dien tijd zich uit en de opvatting van een verbinding als een puur aggregaat wint zienderogen veld.

Wel doet men nog een tijdlang moeite, haar te beperken tot de stoffen die wij in het laboratorium kunstmatig kunnen bereiden en daartegenover voor natuurlijke samengestelde stoffen het bestaan van een eigen zijnsvorm te handhaven. Wanneer het dan practisch onmogelijk blijkt, die onderscheiding staande te houden, tracht men haar te maken tussen stoffen die wèl en andere die niet voor daadwerkelijke ontleding vatbaar zijn, maar dat zijn kennelijk slechts achterhoedegevechten van een verslagen leger.

76. Wij hebben ons in het bovenstaande in den regel beperkt tot het spreken over het al of niet voortbestaan van de deeltjes der elementen in verbindingen, omdat daardoor de principiële kant van de kwestie voldoende in het licht wordt gesteld. Volledigheidshalve merken we echter nog op, dat zij evengoed kan worden opgeworpen en inderdaad ook opgeworpen is ten aanzien van z.g. secundaire deeltjes als die van zwavel en kwik in de alchemistische theorie van de samenstelling der metalen en zelfs van z.g. tertiaire deeltjes, zoals die der metalen zelf. Beide bestaan uit de elementen, maar ze bezitten een constitutie van zodanige stevigheid,

dat zij zich bij het aangaan van verbindingen juist zo zelfstandig gedragen als de onscheidbare deeltjes der elementen zelf; men herkent in deze beide categorieën gemakkelijk den oorspronkelijken vorm van het latere molecuulbegrip.

77. Aan het eind van onze bespreking van de stoftheorieën in den overgangstijd gekomen, merken we nog op, dat onder de chemici die het Aristotelische vormbegrip als verklaringsprincipe in het probleem van het verschil in eigenschappen van een samengestelde stof en haar bestanddelen verwerpen, toch wel een, zij het soms vaag besef overblijft, dat daarmee het probleem zelf niet uit de wereld geholpen is. Wij zien hen dan ook moeite doen om, nadat ze tegen Aristoteles uitdrukkelijk verklaard hebben, dat een verbinding niets meer is dan een aggregaat, in de corpusculairtheorieën zelf de middelen te vinden om duidelijk te maken, dat ze toch wel meer is. Die middelen lagen sedert Demokritos gereed: het zijn vorm in den zin van meetkundige gedaante, ligging, rangschikking en bewegingstoestand, alle dus wiskundig bepaalbare kenmerken. Basso neemt aan, dat de specifieke werking van de elementen niet voortvloeit uit hun aanwezigheid, maar uit den bewegingstoestand der deeltjes en verklaart nu het optreden van nieuwe eigenschappen bij het tot stand komen van een verbinding door de wederzijdse storende werking die de verschillende eigenbewegingen van de verschillende soorten deeltjes op elkaar uitoefenen. Naast deze kinetische opvatting wordt vooral het statische begrip rangschikking als verklaringsprincipe ingevoerd. Basso ziet als mogelijkheid, dat twee verbindingen die uit dezelfde bestanddelen in dezelfde verhouding bestaan, door een verschil in rangschikking van de elementaire deeltjes in eigenschappen zullen kunnen verschillen en spreekt daardoor, evenals Oresme (II: 126) al vóór hem gedaan had, als denkbaarheid uit, wat de latere chemie door de ontdekking van het verschijnsel der isomerie als feitelijkheid zal bevestigen. Als algemener verklaringsprincipe doet het begrip structuur dienst, waaronder het geheel van de wiskundig bepaalbare statische kenmerken van een groep deeltjes te verstaan is. Met de invoering van dit begrip, dat aan de klassieke natuurwetenschap in kwesties die den bouw van de stof betreffen, de diensten zal bewijzen die de Aristotelische van het vormbegrip verlangde, overschrijden we echter reeds den drempel van een nieuwen tijd, zodat we de behandeling hier eerst moeten afbreken.

78. We willen hier alleen nog de opmerking maken, dat men niet te snel uit het voorkomen van een critische houding ten aanzien van de leer van Aristoteles bij individuele auteurs mag besluiten tot een verzwakking van de officiële positie van het Aristotelisme in de wetenschapsbeoefening aan de Universiteiten. Voorlopig heerste de peripatetische natuurphilosophie daar oppermachtig en kregen afwijkende denkbeelden zelfs niet de kans gehoord te worden. Een typerend voorbeeld vormt het optreden van het Parlement van Parijs tegen een drietal geleerden die op

24 en 25 Augustus 1624 een openlijke verdediging van een aantal tegen Aristoteles en Paracelsus gerichte stellingen hadden aangekondigd[46]. Niet alleen werd dit plan verijdeld en werden de aanstichters gestraft, maar zelfs werd officieel op straffe des doods verboden *de tenir ni enseigner aucunes maximes contre les anciens Auteurs et approuvez, ni faire aucunes disputes, que celles qui seront approuvées par les Docteurs de la dite Faculté de Théologie*[47].

Dit decreet heeft ongetwijfeld de openlijke verkondiging van de nieuwere natuurwetenschappelijke denkbeelden een tijdlang tegengehouden; dat ze zich intussen in het verborgen bleven ontwikkelen heeft het uiteraard niet kunnen beletten en het machtsvertoon dat er in tot uiting kwam, kan er slechts toe hebben bijgedragen, de ogen te openen voor de intrinsieke zwakte van een regime dat zich van dergelijke middelen voor de handhaving van zijn gezag moest bedienen.

Eindnoten:

41 Hooykaas (5), van Melsen.
42 Geciteerd bij Tilmann Pesch 149, n. 2.
43 Hooykaas (5), van Melsen.
44 Hooykaas (5), Lasswitz, van Melsen.
45 Hooykaas (5) 80.
46 Lasswitz I 482 vlg.
47 Hooykaas (1) 191.

Deel IV
De geboorte der klassieke natuurwetenschap

Inleiding

1. Eindelijk zijn we dan nu genaderd tot wat we boven de *anni mirabiles* noemden, de jaren waarin voor de verschillende takken der natuurwetenschap werkelijk de vernieuwing begint, die het klassieke tijdperk inleidt en daarmee de moderne ontwikkeling voorbereidt. Tevens dus de openingsjaren van het tijdvak waarin de mechanisering van het wereldbeeld, waarvan we in dit boek het ontstaan beschrijven om te leren inzien waaruit ze eigenlijk bestaat, haar beslag krijgt.

Het is een scherp omlijnde periode, die ons nu bezig gaat houden. Zij begint in 1543 met het werk van Copernicus *De Revolutionibus Orbium Coelestium* en eindigt in 1687 met Newton's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Zij brengt een ontzaglijken vooruitgang in 's mensen weten en kunnen en daarmee een ingrijpende verandering in zijn levensen wereldbeschouwing; ze ligt daardoor als een duidelijke afscheiding tussen Oudheid en Middeleeuwen aan den enen kant en de voorlopig nog onbenoemde en oningedeelde eeuwen waartoe ook onze tijd behoort.

Men zal van de behandeling die we hier van dit belangrijke tijdvak gaan geven, nog veel minder volledigheid mogen verlangen, dan we in de voorafgaande hoofdstukken hebben kunnen nastreven. Wij zullen nu nog vaker dan toen de noodzakelijkheid ondervinden, uit de rijke stof slechts een keuze te doen. Bovendien brengt de aard van den lezerskring waarvoor dit boek bestemd is, met zich mee, dat we ons moeten beperken tot de behandeling van die onderwerpen waarvoor nog geen speciale wiskundige of natuurwetenschappelijke geschooldheid vereist wordt.

De verschillende onderdelen waarin de natuurwetenschap uiteenvalt, beduiden even zovele ontwikkelingslijnen in bet historisch verloop; deze komen echter telkens, hetzij alle hetzij ten dele, als in een knooppunt samen in een van de grote wetenschappelijke gestalten waaraan het tijdvak zo rijk is. Dat schept een methodisch dilemma: vervolgt men elk dier lijnen stuk voor stuk van begin tot eind, dan snijdt men de knooppunten stuk en er ontstaat geen duidelijk totaalbeeld van die onderzoekers die juist het meest verdienen, in de volle veelzijdigheid van hun wetenschappelijke persoonlijkheid beschreven te worden. Groepeert men echter de stof om de grote figuren, dan komt de ontwikkeling van de afzonderlijke vakken niet tot haar recht. En in geen van beide gevallen is het mogelijk, ook met hun wederzijdse afhankelijkheid voldoende rekening te houden.

Wij zullen daarom de beide methoden zo trachten te combineren, dat zoveel mogelijk hun voordelen behouden blijven en hun nadelen vermeden worden en dat toch ook nog iets blijkt van wat ze geen van beide kunnen geven. Dat zal alleen aan het eind van ons verhaal niet meer nodig blijken. Alle lijnen lopen dan samen in de dominerende figuur van Isaac Newton, waarin de grondlegging van de klassieke natuurwetenschap haar voltooiing

verkrijgt. Wij zullen over hem dus aanvankelijk nergens en ten slotte uitsluitend spreken.

We kunnen nu eerst, zonder op andere vakken acht te slaan, een tijdlang de ontwikkeling der astronomie vervolgen, waarbij we de stof groeperen om drie hoofdfiguren: Copernicus, Tycho Brahe, Kepler.

I. De astronomie van Copernicus tot Kepler

A. Nicolaus Copernicus[1]

2. De vereniging van vernieuwing en behoud, die zo kenmerkend is voor de wijze waarop ingrijpende veranderingen in het natuurwetenschappelijk denken zich plegen te voltrekken en die door den vaak gebruikten term omwenteling zo slecht wordt uitgedrukt, komt bij geen enkele grote figuur uit de wetenschapsgeschiedenis duidelijker tot uiting dan bij Copernicus. Met hem begint een nieuwe tijd, maar men moet dit vooral niet zo verstaan, dat hij tabula rasa zou hebben gemaakt van de begrippen en methoden waarmee de astronomie door de eeuwen heen gewerkt had, dat hij de gelegenheid zou hebben gehad, zich eens onbevangen tegenover de sterrenwereld te plaatsen, als ware hij de eerste die haar denkend beschouwde. Veel meer dan het nieuwe valt in zijn werk het oude op, de ganse traditionele stijl der Griekse astronomie, haar manier om problemen te stellen, haar methode om ze op te lossen. Men weet, hem lezende, dat men te maken heeft met het in 1543 verschenen werk van een Pruisischen astronoom, maar, als men afziet van de toepassing van trigonometrische rekenwijzen, vindt men er niets in, dat niet even goed in de tweede eeuw na Christus door een opvolger van Ptolemaios geschreven zou kunnen zijn. Na een stilstand van circa veertien eeuwen zet zich de ontwikkeling van de astronomie te Frauenburg voort op het punt, waarop zij te Alexandria was blijven staan.

Copernicus brengt in het stelsel van Ptolemaios twee principiële wijzigingen aan, die in wezen beide een terugkeer naar oudere Griekse denkbeelden beduiden: hij neemt aan, dat de aarde in beweging verkeert en hij maakt ernst met het Platonisch voorschrift, dat de hemelverschijnselen moeten worden gered enkel met eenparige cirkelbewegingen. Ptolemaios had het eerste op physische gronden verworpen, hoewel hij er de astronomische bruikbaarheid van inzag (I: 79) en zich aan het tweede ondanks physische bezwaren niet gebonden geacht, toen hij kans zag, door het invoeren van vereffeningspunten de aansluiting van de theorie aan de waarneming te verbeteren (I: 73). Copernicus past zijn physisch denken aan de leer der bewegende aarde aan, maar voelt zich daardoor juist versterkt in de principiële verwerping van iedere afwijking van de eenparigheid in de bewegingen der hemellichamen, zoals de theorie van het vereffeningspunt die in feite toch met zich meebracht.

Achteraf gezien lijkt de eerste wijziging oneindig belangrijker dan de tweede: in de eerste herkent men een gedachte van blijvende waarde, die spreekwoordelijk zou worden voor iedere radicale standpuntsverandering; in de tweede ziet men niet meer dan een technisch detail van een reeds lang opgegeven theorie. Copernicus zelf dacht er anders over: wanneer hij aan het eind van zijn jaren nog eens zijn levenswerk overziet, be-

schouwt hij als de grootste winst die het voor de astronomie heeft opgeleverd, niet de veranderde positie van de zon in het heelal en de daaruit voortvloeiende vereenvoudiging van het wereldbeeld, maar de afschaffing van het punctum aequans[2], de verzoening van de zonde tegen den geest der Platonische wijsbegeerte, die Ptolemaios te kwader ure begaan had. Wie het denken van Copernicus werkelijk wil begrijpen, mag over deze uitlating evenmin heenlezen als hij, Goethe bestuderend, na mag laten er aandacht aan te schenken, dat deze op hogen leeftijd meer waarde blijkt te hechten aan zijn prestaties op het gebied van de kleurentheorie dan aan zijn literaire productie[3].

3. Het werk *De Revolutionibus* bestaat uit twee gedeelten, die onderling sterk verschillen in doelstelling, aard en betekenis. Het eerste wordt uitsluitend gevormd door het eerste van de zes boeken, waarin het gehele werk verdeeld is. Het is bestemd voor den algemenen lezer en geeft een zeer bevattelijke, sterk vereenvoudigde schets van het nieuwe wereldstelsel, waarin echter ook de wijsgerige gronden waarop het berust, worden ontwikkeld. Het tweede, de boeken II-VI omvattend, is geschreven voor beroepsastronomen; het geeft in streng wetenschappelijken vorm de zeer gecompliceerde details van het stelsel en vormt daardoor lectuur van eenzelfden graad van moeilijkheid als de *Almagest* (die Copernicus oorspronkelijk ook als model voor zijn eigen werk heeft willen gebruiken).

Wij kunnen hier uiteraard op dat tweede deel niet ingaan. Over het eerste alleen te spreken zou echter kunnen verleiden tot een schromelijke onderschatting van den door Copernicus verrichten arbeid en tot een onjuiste voorstelling over wat na hem nog in de astronomie te doen overbleef. We zullen dus na de behandeling van den vereenvoudigden vorm van het stelsel toch ook nog iets over de werkelijke uitvoering moeten zeggen.

4. De inzet van Boek I verloopt met zijn argumenten voor den bolvorm van het heelal, de hemellichamen en de aarde geheel in de Aristotelisch-Ptolemaeische spheer. Nieuw, maar ook nog geheel in Grieksen denkstijl is dan echter de gedachte, dat een bolvormig lichaam van nature een eenparige rotatie om een van zijn middellijnen moet uitvoeren. In de plaats van het religieuse motief, dat Plato er toe gedreven had, aan hemellichamen slechts eenparige cirkelbewegingen toe te staan (iedere onregelmatigheid zou in strijd zijn met den aard van het goddelijke) en van het physische, dat Aristoteles zijn eis had doen overnemen (de zijnsvorm van de vijfde essentie sluit eenparige cirkelbeweging in) treedt nu dus een van mathematischen aard: de bewegingstoestand vloeit voort uit den geometrischen vorm.

Aan den bolvorm van de aarde is dus voor Copernicus haar dagelijkse aswenteling even onverbrekelijk verbonden als voor Ptolemaios haar rust in het wereldcentrum het aan haar physische constitutie geweest was. De ene stelling is zoveel waard als de andere en het is dan ook geen wonder, dat de argumenten waarmee Copernicus de redeneringen van

den *Almagest* bestrijdt, slechts overtuigend zijn voor wie niet meer overtuigd behoeft te worden. Als de aarde draaide, had Ptolemaios gezegd, zou ze wegens de grote omwentelingssnelheid uit elkaar moeten spatten. Maar Uw hemel dan, vraagt Copernicus, waarvan de punten toch een nog veel grotere snelheid zouden bezitten, is die dan wel bestand tegen dat wentelen? Bovendien, de beweging die ik aan de aarde toeken, wordt haar niet opgedrongen, zoals de draaiing aan een wentelend wiel en men behoeft dus niet bang te zijn voor de centrifugale verschijnselen die het wiel vertoont. Waarop Ptolemaios natuurlijk zou hebben kunnen antwoorden, dat er dan ook geen reden is om zich bezorgd te maken over den draaienden hemel, die immers ook van nature ronddraait en die bovendien helemaal niet uit aardse materie bestaat.

Stuk voor stuk bespreekt Copernicus ook de argumenten die we Ptolemaios tegen de onderstelling van een dagelijkse aswenteling hebben horen aanvoeren (I: 79) en die betrekking hadden op het gedrag van wolken, vogels en opgeworpen lichamen: met de aarde wentelt de binnenste schil van den dampkring rond en alles wat zich daarin bevindt, deelt van nature in haar beweging. De buitenste schil echter rust met den hemel en daarom gedragen de kometen, die zich daarin bevinden, zich, wat op- en ondergaan betreft, geheel als de echte hemellichamen.

De gelijkwaardigheid der beide standpunten komt ook tot uiting in de opvatting die de beide partijen van zwaarte hebben: voor Ptolemaios is dit, evenals voor Aristoteles, een streven naar het wereldcentrum, voor Copernicus echter een streven naar vereniging met het gelijksoortige. Bij Ptolemaios valt een zwaar lichaam naar de aarde toe omdat het zodoende zo dicht mogelijk het wereldcentrum, dat het zou willen bereiken, benadert. Bij Copernicus doet het hetzelfde om zich te kunnen verenigen met het geheel waartoe het behoort. Wanneer de aarde eens verplaatst werd naar de maanspheer en men liet in de buurt ervan een zwaar lichaam los, dan zou dit volgens Copernicus naar de aarde in haar nieuwen stand vallen en niet, zoals Aristoteles wilde, toch naar het nu aardloze wereldcentrum gaan.

5. Tot zover staat er in *De Revolutionibus* niets, wat men niet ook in het *Traité du Ciel et du Monde* van Oresme zou hebben kunnen lezen en ook in den uitleg, dat de dagelijkse aswenteling der aarde inderdaad de dagelijkse hemeldraaiing kan verklaren, gaat Copernicus niet boven zijn scholastieken voorganger uit. Dat wordt echter anders, wanneer hij over de jaarlijkse beweging van de aarde begint te spreken. Dat zij bestaat, kan hij natuurlijk niet bewijzen, ten hoogste door een analogieredenering aannemelijk maken: wanneer in het stelsel van Ptolemaios aan de zon, de maan en de planeten, alle lichamen, die door de zwaarte (opgevat als een streven tot vereniging van het gelijksoortige) in bolvorm zijn samengekomen, verscheidene cirkelbewegingen tegelijk worden toegekend, waarom zou dan niet ook de aarde behalve haar aswenteling nog andere bewegingen kunnen uitvoeren? Nemen we nu aan, dat zij in een jaar om de Zon draait

en dat de planeten Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus dat, elk in hun eigen omloopstijd, ook doen, dan blijkt, dat er een wereldstelsel tot stand komt dat eenvoudiger en harmonischer is dan dat van Ptalemaios en die beide kenmerken zijn sterke waarborgen voor de waarheid ervan.

Copernicus zet slechts zeer beknopt uiteen, dat de meest opvallende verschijnselen van de zons- en de planetenbeweging zich inderdaad door deze nieuwe hypothese òf evengoed òf beter laten redden dan in het stelsel van Ptolemaios. Wanneer we ons beperken tot den vereenvoudigden vorm waarin we dit laatste (in I: 76) hebben weergegeven en voor het Copernicaanse de eveneens vereenvoudigde gedaante gebruiken waarin het in Boek I geschetst wordt, kunnen we de mogelijkheid om van het ene op het andere stelsel over te gaan, als volgt inzien.

6. We tonen eerst aan, dat door invoering van twee aanvullende hypothesen het stelsel van Ptolemaios een vorm verkrijgt, die als een tussenstadium in den overgang tot het Copernicaanse te beschouwen is. We herinneren daartoe eerst aan den eigenaardigen samenhang die in het stelsel van Ptolemaios bestaat tussen de bewegingen van de planeten en die van de zon en waarop Regiomontanus nog kort geleden opnieuw de aandacht had gevestigd: voor een binnen-planeet ligt het epicykelmiddelpunt op de lijn aarde-zon, voor een buitenplaneet is de epicykelvoerstraal evenwijdig aan deze lijn. Verder merken we op, dat de

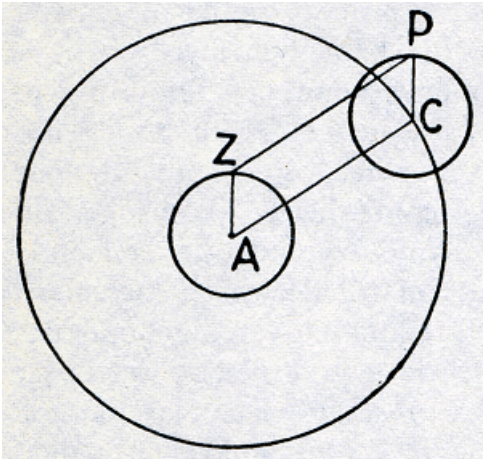


Fig. 14. Overgang van het planetenstelsel van Ptolemaios op dat van Tycho Brahe. Inplaats van te zeggen, dat de zon *Z* om de aarde *A* draait en de planeet *P* om het, een cirkel om *A* doorlopend, centrum *C*, kan men zeggen, dat *Z* om *A* en *P* om *Z* draait.

waarneming wel de verhouding leert kennen van de stralen van epicykel en deferens, maar dat er niets uit is af te leiden over hun absolute waarden. Men kan een van de twee dus nog vrij kiezen; we maken hiervan gebruik in de volgende twee aanvullende hypothesen:

1. Voor de binnenplaneten valt het epicykelmiddelpunt met het zonscentrum samen (keuze van den straal van den deferens).
2. Voor de buitenplaneten is de straal van den epicykel gelijk aan dien van de zonsbaan (keuze van den straal van den epicykel).

De eerste onderstelling is geen andere, dan die reeds door Herakleides gemaakt was en die de gehele Middeleeuwen door als Aegyptische hypothese bekend was gebleven. Zij zegt eenvoudig, dat de binnenplaneten om de zon wentelen. De draagwijdte van de tweede blijkt, wanneer we de nieuwe situatie voor een

buitenplaneet in tekening brengen. Zij (Fig. 14) *A* de aarde, *Z* de zon, *C* het epicykelmiddelpunt en *P* de planeet.

Ondersteld is dus $CP \parallel AZ$. Vierhoek ACPZ is dus een parallelogram en dus is ook $ZP \parallel AC$. We kunnen dus de beweging van de planeet ook omschrijven door te zeggen, dat hij een epicykel doorloopt met straal ZP en dat de zonsbaan de deferens daarvoor is. Ook de buitenplaneten draaien dus om de zon. We zullen zien, dat de hiermee verkregen tussenvorm tussen de stelsels van Ptolemaios en Copernicus inderdaad in de geschiedenis der astronomie is voorgekomen, maar eerst na Copernicus; het is namelijk de (eveneens vereenvoudigde) gedaante van het door Tycho Brahe voorgestelde wereldbeeld (IV: 21).

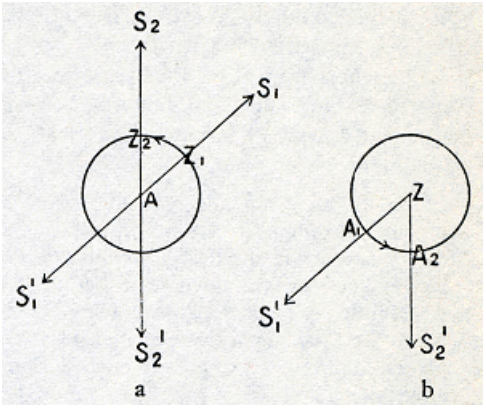


Fig. 15. Overgang van het geocentrische op het heliocentrische standpunt. Inplaats van te zeggen, dat de zon Z om de aarde A draait, kan men zeggen, dat de aarde in denzelfden zin een cirkel om Z doorloopt.

De definitieve overgang op het stelsel van Copernicus komt nu tot stand als men overweegt, dat het voor de waarneming op hetzelfde neerkomt, of Z een cirkel om A beschrijft of dat A in denzelfden tijd een even groten cirkel om Z in dezelfde richting doorloopt. Ziet namelijk in Fig. 15a de aarde A de zon Z op de tijdstippen t_1 en t_2 opv. in de richting van de sterren S_1 en S_2, dan ziet de zon de aarde op diezelfde tijdstippen opv. in de richting van de sterren S'_1 en S'_2. Dit zelfde effect wordt echter ook bereikt in Fig. 15b, waarin de aarde om de zon wentelt.

Hiermee zijn we nu echter op het vereenvoudigde stelsel van Copernicus uitgekomen: mèt de planeten wentelt de aarde om de zon; zij is evengoed een hemellichaam als zij.

Het is duidelijk, dat deze wijziging van standpunt voor de zonsbeweging weliswaar geen, maar voor de planetenbeweging een zeer aanzienlijke vereenvoudiging betekent. Zij redt immers met één slag de tweede ongelijkheden van alle planetenbewegingen en ontneemt er dus de meest opvallende onregelmatigheid, de periodiek terugkerende retrograde beweging, aan. De epicykelbeweging, waardoor Ptolemaios deze onregelmatigheid had verklaard, blijkt niets anders te zijn dan de afspiegeling van de jaarlijkse aardbeweging om de zon in het gedrag der planeten.

7. De hiermee bereikte vereenvoudiging van het wereldbeeld blijkt nu voor Copernicus wel het eigenlijke doorslaggevende argument voor de juistheid van zijn theorie te zijn geweest. Dat de zon het centrum van de wereld vormt, wordt gewaarborgd door de ordelijke wijze waarop de

planeten nu binnen de onbeweeglijke buitenste spheer gerangschikt zijn: zij bewegen zich, alle in dezelfde richting, in concentrische banen met hoeksnelheden die met toenemenden afstand tot het centrum gestadig geringer worden, een voorstelling die harmonischer en aesthetischer is dan die van planetenspheren die met gestadig afnemende hoeksnelheid Oostwaarts draaien binnen een sterrenspheer die met een zeer veel grotere hoeksnelheid Westwaarts wentelt, en die daarom ook beter de waarheid benadert.

In een beroemd geworden passage van het tiende hoofdstuk betoogt Copernicus nog eens, dat in dit schoon geordende wereldstelsel de zon nergens anders een haar waardige plaats zou kunnen innemen dan in het centrum:

> In het midden van alle hemellichamen zetelt de Zon. Wie zou in dezen prachtigen tempel deze lamp op een andere of betere plaats kunnen zetten dan van waaruit ze alles gelijktijdig verlichten kan? Waarlijk niet ten onrechte hebben sommigen haar het licht der wereld, anderen haar geest, weer anderen haar heerser genoemd. Trismegistos noemt haar den zichtbaren God, de Electra van Sophokles de alziende. Zo inderdaad als zetelend op een koninklijken troon bestuurt de Zon het geslacht der sterren, die haar omgeven.

8. Men kan zich levendig voorstellen, dat iemand die van *De Revolutionibus* niet meer dan het eerste boek gelezen heeft en nu het stelsel van Copernicus meent te kennen, er gemakkelijk toe komt, juichtonen aan te heffen om de ontzaglijke vereenvoudiging die door de heliocentrische hypothese in de astronomie is teweeg gebracht, en zich te verwonderen, dat niet iedereen gaarne bereid was, het nieuwe wereldstelsel als het enig ware te aanvaarden. Een ogenblik van bezinning leert echter al spoedig, dat in het eerste Boek nooit meer gedaan kan zijn dan het trekken van de grote lijnen en dat het eigenlijke astronomische werk, de wiskundige voorstelling van de waargenomen bewegingen, nog moet beginnen. Vooreerst wat de zon betreft: de in dit boek gegeven voorstelling, dat de aarde in een jaar eenparig een cirkel om de zon beschrijft, is voor de Griekse astronomie aequivalent met de onderstelling, dat de zon in een jaar eenparig een cirkel om de aarde doorloopt. De Grieken hadden echter al ettelijke eeuwen voor Ptolemaios ontdekt, dat deze onderstelling niet met de feiten klopt: de jaargetijden zouden dan namelijk alle even lang moeten zijn en dat bleek niet het geval te zijn. Daarom had Hipparchos reeds een excentrische zonsbeweging ingevoerd. Het is duidelijk, dat Copernicus zijn eenvoudige hypothese ook door een meer gecompliceerde zal moeten vervangen.

Dan wat de planeten aangaat: door de hypothese, dat de aarde zich om de zon beweegt, was wel de tweede ongelijkheid van de planetenbeweging gered, maar was aan de eerste nog niets gedaan. Om deze te verklaren, had Ptolemaios zich echter gedwongen gezien, af te wijken van het Plato-

nisch axioma, vereffeningspunten in te voeren en dus in feite niet-een-parige bewegingen toe te laten. Copernicus wijst dezen uitweg principieel af, maar hoe zal hij nu de eerste ongelijkheid redden?

En ten slotte de maan. Hiervoor maakt het niets uit, of de zon om de aarde of de aarde om de zon loopt, want zij blijft toch altijd om de aarde bewegen. Om die beweging wiskundig voor te stellen, had Ptolemaios de verfijndste hulpmiddelen van de Griekse astronomie te baat moeten nemen en het was hem ondanks het zeer gecompliceerde bewegingsstelsel dat hii er voor in elkaar had gezet, nog maar ten dele gelukt. Copernicus stond nu echter voor precies dezelfde taak.

9. Over dit alles wordt in Boek I echter niet gerept. Daarom begaat men een schromelijke onbillijkheid, wanneer men den harmonischen eenvoud van het hierin geschetste ideale wereldbeeld plaatst tegenover de volle complicatie van het reële stelsel van Ptolemaios, op grond waarvan tafels voor de bewegingen van zon, maan en planeten berekend waren, waaruit hun plaatsen aan den hemel konden worden afgeleid. Het is een onbillijkheid, waarvan Copernicus zelf zich niet geheel vrijhoudt, waar hij het heeft over de welhaast oneindige veelheid van cirkels, die in den *Almagest* worden aangetroffen en die hij vermijden kan[4]. De invoering van de aardbeweging om de zon heeft nooit meer dan vijf epicykels overbodig kunnen maken. Vergelijking der beide stelsels heeft pas zin, wanneer men ook van het Copernicaanse de uitwerking kent en de prestaties op het gebied van tafelberekening kan overzien. Voorzover de nieuw te berekenen tafels beter zullen zijn dan de Alfonsinische, die op het stelsel van Ptolemaios gebaseerd waren, zullen ze dit echter niet te danken hebben aan de heliocentrische hypothese als zodanig, maar alleen aan de betere qualiteit van de detailstructuur van het nieuwe stelsel. Door invoering van een ander coördinatenstelsel kan men namelijk de wiskundige voorstelling van een waargenomen beweging wel eenvoudiger, maar niet nauwkeuriger maken.

10. Men ontmoet van tijd tot tijd in de literatuur over de historische ontwikkeling van de astronomie uitingen van verbazing, bedroefdheid of ergernis, dat Copernicus, na het Ptolemaeïsche juk te hebben afgeschud, zoals men dan rhetorisch zegt, en na de ijdele subtiliteiten van zijn bizarre bouwsel te hebben weggevaagd, zelf weer is teruggevallen, zoals dat dan heet, in de oude dwalingen door ook weer met epicykels te gaan werken[5] (excenters ontkomen gewoonlijk aan de kritiek, omdat men deze minder onnatuurlijk, d.w.z. gemakkelijker in een mechanisch model realiseerbaar, vindt). Dat is een volkomen onjuiste opvatting. Vooreerst was het stelsel van Ptolemaios niet in denzelfden zin een juk, als waarin men de Aristotelische physica in de zestiende eeuw zo kon betitelen, maar een zeer geslaagde poging om met de beschikbare hulpmiddelen de waargenomen astronomische verschijnselen wiskundig voor te stellen in een coördinatenstelsel, waarvan de oorsprong in het aardcentrum lag; vervolgens doet het

stelsel van Copernicus ondanks de vereenvoudiging in het redden van de tweede ongelijkheid der planetenbeweging in complicatie nauwelijks voor dat van Ptolemaios onder en kan er ook niet veel voor onderdoen, omdat de weer te geven bewegingen nu eenmaal hoogst onregelmatig zijn; en ten slotte was de wiskunde in de zestiende eeuw wel verder gekomen dan in de Oudheid op het gebied der trigonometrie, zodat de berekeningen uit de boldriehoeksmeting vlotter konden verlopen, maar had ze in de meetkunde het oude peil nog niet weer bereikt en was ze in de algebra nog lang niet ver genoeg gevorderd om de mogelijkheid van een analytische uitdrukking der hemelbewegingen met behulp van reeksontwikkelingen zelfs maar te kunnen doen vermoeden.

II. Dat dus in de boeken II-VI weer excenters en epicykels voorkomen, mag niet de minste reden tot verwondering zijn. Wat eerder verbazing kan wekken, is dat Copernicus zich, voordat hij met de behandeling van zon, maan en planeten begint, de uiterste moeite geeft om de ongelijkheid in de praecessie, die aanleiding had gegeven tot de theorie van de trepidatie (II: 16), en de saeculaire vermindering van de helling van de ecliptica die men meende op te merken, door de onderstelling van twee onafhankelijke oscillatorische bewegingen van de aardas te redden; hoewel toch het feitenmateriaal dat hiervoor ter beschikking stond, lang niet volledig en exact genoeg was om zo gedetailleerde constructies te wettigen. Dat hij ze toch ging uitvoeren, vormt een typerend symptoom van het onbeperkte vertrouwen dat hij in de nauwkeurigheid en de integriteit van zijn voorgangers in de astronomie stelde[6]; hij heeft hun theorieën, waar hij dat nodig vond, durven verwerpen, maar den moed, aan hun waarnemingen te twijfelen, heeft hij nooit bezeten. Hij achtte zich dus verplicht, zijn theorieën zo in te richten, dat alle overgeleverde observaties er in pasten en dat heeft hem speciaal in zake de praecessie veel overbodige moeite bezorgd. Eerst tegen het eind van zijn leven heeft hij het niet ongerechtvaardigde vermoeden uitgesproken, dat althans Ptolemaios zijn waarnemingen misschien wel eens enigszins heeft gefatsoeneerd om ze beter met zijn theorie te laten overeenstemmen[7].

Wij kunnen hier Copernicus evenmin in de details van zijn vernuftige praecessie-theorie volgen als we uiteen kunnen zetten, hoe hij dan verder met excenters en epicykels de bewegingen van de aarde, de maan en de planeten weergeeft.

12. Wel willen we nog opmerken, dat, nu het stelsel wordt uitgewerkt, de zon er helemaal niet de allesbeheersende positie in blijkt te bekleden die wij in het tiende hoofdstuk van Boek I in zo hooggestemde bewoordingen hoorden schetsen. Het centrale punt waarin alle absidenlijnen van de planetenbanen elkaar snijden, blijkt het lege mathematische centrum van de aardbaan te zijn. De zon staat ergens ter zijde en doet niets anders dan het geheel verlichten. En de term heliocentrisch, waarmee we het Copernicaanse stelsel plegen aan te duiden, drukt er den eigenlijken aard

nog veel minder van uit dan het Ptolemaeïsche in strikten zin geocentrisch mag heten.

Nu heeft men wel eens den term heliocentrisch willen rechtvaardigen door er op te wijzen, dat de zon het centrum van de spheer der vaste sterren is. Echter heeft Simon Stevin, aan wien wij een helderen commentaar en een vurige verdediging van het stelsel van Copernicus danken, reeds opgemerkt[8], dat deze zegswijze geen zin heeft. Om namelijk te ontkomen aan het onmiddellijk tegen zijn theorie aangevoerde en volkomen gewettigde bezwaar, dat de jaarlijkse aardbeweging om de zon zich even goed zou moeten afspiegelen in het gedrag der vaste sterren als ze het doet in dat der planeten en dat we de sterren dus jaarlijks gesloten banen zouden. moeten zien doorlopen (het later inderdaad ontdekte en toen sterk voor het stelsel pleitende verschijnsel van de parallaxis) had Copernicus moeten aannemen, dat de sterrenspheer zo ver van ons verwijderd is, dat we van dit verschijnsel niets merken; de aardbaan moet daartoe, vergeleken met deze spheer, als een punt zijn; dan heeft het echter geen zin, van de binnen de aardbaan gelegen punten eerder het ene dan het andere als centrum van de sterrenspheer of van het heelal te beschouwen.

13. Ondanks een verschil van mening over de toelaatbare constructiemiddelen is de gehele denkspheer waarin de opbouw van *De Revolutionibus* wordt uitgevoerd, zo zeer dezelfde als die van den *Almagest*, dat de lezing ook dezelfde vraag doet rijzen als het werk van Ptolemaios altijd gewekt had: wat is nu eigenlijk de bedoeling van al deze vernuftig in elkaar gezette bewegingsstelsels? Zijn het mathematische analysen van de wijze waarop de hemellichamen zich gedragen; moet men dus, om een vergelijking aan de moderne wiskunde te ontlenen, in deze ontleding van een waargenomen beweging in eenvoudige componenten iets soortgelijks zien als in de voorstelling van een willekeurige functie door een som van sinusfuncties? Of wil de auteur beweren, dat er in de ruimte in feite voor ons onzichtbare mechanismen werkzaam zijn, waarin de beschreven bewegingen worden uitgevoerd, maar waarvan wij alleen het uiteindelijk resultaat waarnemen?

Men had deze vraag ten aanzien van Ptolemaios ook altijd wel gesteld, maar ze kreeg nu een veel dringender strekking. Voorheen betrof ze alleen de hemelruimte, die we niet door directe ervaring kennen; nu gold ze de aarde, die onze eigen verblijfplaats is. En hiervoor nam ze den vorm van een niet te ontwijken dilemma aan: is de onderstelde aardbeweging een mathematische fictie of houdt Copernicus vol, dat de aarde niet rust in het centrum van de wereld, maar zich zowel om haar as als om de zon beweegt?

14. De eerste lezers van *De Revolutionibus* heeft dit dilemma niet behoeven te verontrusten. Aan het eigenlijke werk gaat namelijk een voorrede vooraf, getiteld *Aan den lezer, over de hypothesen van dit werk*, waarin

wordt meegedeeld, dat de auteur alleen de aan een astronoom toevallende taak heeft willen volbrengen, met behulp van hypothesen de hemelbewegingen berekenbaar te maken, maar dat het opstellen van die hypothesen helemaal niet de bewering insluit, dat zij ook waar, zelfs niet, dat zij ook maar waarschijnlijk zijn. De astronomie kan nu eenmaal op dit punt niets zekers leren; wie de onderstellingen, die zij voor een ander doel maakt, voor waarheid houdt, zal dommer van haar heen gaan dan hij gekomen is.

Het is later gebleken, dat deze voorrede afkomstig is van den Luthersen theoloog Osiander, die toezicht op het drukken van het werk had uitgeoefend en die blijkbaar op deze wijze de bezwaren tegen het nieuwe stelsel die men verwachten kon, heeft willen ondervangen en den strijd die er om gevoerd zou worden, heeft trachten te voorkomen. In den kring van de naaste aanhangers van Copernicus heeft het grote verontwaardiging gewekt, dat zijn theorie van de aardbeweging als een mathematische fictie zonder enige realiteitsaanspraak werd voorgesteld, inplaats van als een uitdrukking van de ware toedracht van zaken en Osiander heeft dan ook dadelijk den naam gekregen en tot in de twintigste eeuw toe behouden van een falsaris, die de ware bedoelingen van den auteur van een aan zijn zorgen toevertrouwd werk uit domperse motieven opzettelijk vervalst zou hebben weergegeven.

15. Tegenwoordig beoordeelt men hem echter wel anders[9]: vooreerst is de opvatting van doel en draagwijdte van een mathematisch-physische theorie die aan zijn beschouwingen ten grondslag ligt, alleszins houdbaar: men kan inderdaad op goede gronden van mening zijn, dat zulk een theorie doet wat men van haar verwachten mag, wanneer zij er in slaagt, een mathematisch gedachtenstelsel te construeren waarvan de resultaten kloppen met reeds uitgevoerde metingen en door nieuwe waarnemingen bevestigd worden. Vervolgens is het lang niet zeker, dat zijn voorrede door Copernicus wel met dezelfde verontwaardiging zou zijn afgewezen, als waarmee zijn vrienden er na zijn dood op hebben gereageerd. Wèl door den Copernicus, die het eerste Boek van *De Revolutionibus* heeft geschreven en die er blijkbaar vast van overtuigd is, dat het zin heeft om te zeggen, dat de zon in rust verkeert en de aarde niet en die bovendien ook zeker meent te weten, hoe deze zich beweegt. Maar de auteur der Boeken II-VI zou toch wel heel moeilijk hebben kunnen volhouden, dat hij over de daarin ontwikkelde theorieën anders dacht dan Osiander. Hij maakt immers in zo ruime mate gebruik van de vrijheid om waargenomen afwijkingen van een eenvoudige theorie te redden door er nog maar weer een epicykel bij te nemen; hij zet ook zo onbevangen uiteen, hoe soms eenzelfde verschijnsel door geheel verschillende hypothesen kan worden gered zonder ook maar een poging te doen, om uit te maken, welke onderstelling physisch het meest aannemelijk is; en hij komt, met name bij de planeet Mercurius, tot zo ingewikkelde bewegingscombinaties, dat hij ze

onmogelijk als physisch in de ruimte gerealiseerd kan hebben beschouwd. Wanneer men deze boeken leest met de beginselverklaring van Osiander in de gedachten, voelt men nergens de minste tegenstrijdigheid.

Het is in dit verband veelzeggend, dat Copernicus op een door Osiander gedaan voorstel, een voorrede van de bedoelde strekking op te nemen, niet geantwoord schijnt te hebben[10]. Wat zou hij ook hebben moeten antwoorden, daar hij toch moeilijk voor de aardbeweging de physische realiteit kon opeisen die hij aan zijn constructies voor de bewegingen der andere planeten ten duidelijkste niet toekende? Het is Kepler al opgevallen, dat Copernicus speculerend een heel andere is dan Copernicus rekenend[11]; het is juist de tegenstelling, die we boven tussen den auteur van Boek I en dien van de rest van het werk gemaakt hebben.

16. Ten slotte echter kan men voor de bedoelingen die Osiander blijkbaar tot het schrijven van zijn voorrede hebben gebracht, moeilijk anders dan waardering gevoelen. Het denkbeeld van de dubbele aardbeweging druiste zo zeer in tegen de overheersende, gelijkelijk in geloof en wetenschap wortelende wereldbeschouwing en het kon, voorzover het meer wilde zijn dan een mathematische fictie ter vereenvoudiging van de berekeningen der astronomie, op zo weinig werkelijk overtuigende argumenten bogen, dat men grote moeilijkheden kon verwachten, zodra het buiten de kringen der beroepsastronomen bekend zou worden en daar een onderwerp van discussie zou gaan uitmaken. Er was alles voor te zeggen, het eerst maar eens door de beoefenaren der wetenschappelijke astronomie te laten bestuderen en de resultaten waartoe het voerde, aan de waarneming te laten toetsen, en dat kon niet beter verwezenlijkt worden dan door voorlopig maar op het strikt technisch-astronomische karakter, dat de nieuwe leer toch ongetwijfeld ook bezat, den nadruk te leggen. Wanneer men de opdracht aan Paus Paulus III leest, waarmee het werk begint, krijgt men den indruk, dat dit toch ook wel met de wensen van den schrijver moet hebben gestrookt. Hij zegt daarin immers zelf, dat hij, vooruitziend dat zijn theorie voor onzinnig zal worden uitgekreten en dat er allerlei mensen over zullen meepraten die haar niet kunnen beoordelen, er over gedacht heeft, haar volgens de gewoonte der Pythagoraeërs alleen aan enkele ingewijden en dan nog slechts mondeling mee te delen. Eerst op aandringen van bevriende zijde is hij tot publicatie overgegaan. En in de bekend geworden woorden *Mathemata mathematicis scribuntur* (Over wiskundige, d.w.z. astronomische dingen wordt voor mathematici geschreven) geeft hij duidelijk aan, welke lezers hij zich wenst. De voorrede van Osiander kon de vervulling van dien wens alleen maar bevorderen.

17. Wij willen thans de behandeling van Copernicus besluiten met de behandeling van twee vragen die naar aanleiding van zijn optreden gesteld plegen te worden, die naar de mate van zijn originaliteit en die naar de gevolgen die de publicatie van zijn werk gehad heeft.

Over zijn oorspronkelijkheid kan men tegenwoordig wel eens in twijfe-

lenden toon horen spreken[12] en de door wetenschapshistorici altijd zo naarstig bedreven jacht op z.g. voorlopers schijnt wel eens de strekking te vertonen, dien twijfel te versterken. Men wijst dan op Pythagoraeïsche theorieën, waarin de aarde bewegend gedacht werd, op Herakleides en Aristarchos, op Oresme, Cusanus, Leonardo da Vinci; men noemt zelfs Calcagnini en vindt bij Regiomontanus en den Bolognesen astronoom Domenico Maria da Novara, waarmee Copernicus in zijn Italiaansen studietijd is omgegaan, althans aanwijzingen voor een op handen zijnde vernieuwing van het astronomisch denken. Zulke onderzoekingen zijn natuurlijk altijd de moeite waard en de aanspraken waartoe ze voeren, mogen dan ook niet altijd voldoende gefundeerd zijn, zo lijdt het toch b.v. in het bijzonder geen twijfel, dat Aristarchos de mogelijkheid heeft ingezien, door een dubbele aardbeweging zowel de dagelijkse hemelbeweging als een deel van de bewegingsverschijnselen van de zon en de planeten ten opzichte van de vaste sterren te redden (I: 78) en evenmin, dat Oresme de theorie van de aswenteling behandeld heeft op een wijze, die Copernicus niet meer behoefde te verbeteren (II: 149).

Zoals het echter bij voorlopersstudies vaak gaat, is ook in het geval van Copernicus het uiteindelijk resultaat, dat de verdienste die een voltooier zich door zijn werk verwerft, groter blijkt te worden bij iedere ontdekking van iemand, die vóór hem verwante ideeën koesterde en ze niet in een daad omzette. Het krijgen van vernuftige invallen is voor den bloei der wetenschap natuurlijk volstrekt onmisbaar, het overwegen van mogelijkheden, hoe men een verschijnsel zou kunnen verklaren of een theorie zou kunnen opzetten, steeds van belang en vaak vruchtbaar. Maar men moet nooit vergeten, dat de daden waardoor de wetenschap groeit, verricht worden door hen die in een vaak jarenlang voortgezetten ingespannen arbeid de moeilijkheden die altijd optreden wanneer een gelukkige gedachte moet worden uitgebouwd tot een volledig denksysteem, overwinnen, hun invallen tot voltooide theorieën uitbreiden en van mogelijkheden werkelijkheden maken. Met hen vergeleken zijn voorlopers mensen die wel voelden, welken weg ze moesten inslaan, maar dat om welke reden dan ook niet deden of er ontijdig halt op hielden.

18. De gevolgen die het optreden van Copernicus gehad heeft, eerst voor de astronomie, daarna voor de natuurwetenschap in het algemeen en ten slotte voor het gehele menselijke denken zijn diep ingrijpend geweest[13]. Men is hem steeds intuïtief blijven beschouwen als den vernieuwer bij uitnemendheid, zelfs wel eens ten koste van het inzicht in de sterke bindingen waarmee het verleden hem in den algemenen stijl van zijn denken en in sommige concrete voorstellingen is blijven vasthouden, en zonder dat men steeds voldoende onderscheid heeft gemaakt tussen den invloed van zijn eigen werk en dat van de voortzetters en voltooiers van de door hem wel ingeleide, maar niet tot het einde toe voltrokken vernieuwing. Copernicaanse wending is sedert Kant[14] een staan-

de uitdrukking geworden voor een radicale standpuntsverandering en 1543 geldt in de wetenschapsgeschiedenis als het eigenlijke grensjaar tussen de Middeleeuwen en den Nieuwen Tijd.

19. Wanneer men tot de zestiende eeuw zelf teruggaat, bespeurt men spoedig, dat de uitwerking van zijn daad, hoe sterk ze later ook gevoeld zou worden, zich aanvankelijk slechts weinig bemerkbaar maakt en eerst ongeveer een halve eeuw na zijn dood een duidelijken vorm begint aan te nemen. Men kan wel al spoedig in verscheidene landen astronomen aantreffen die zich tot zijn aanhangers verklaren, maar daarnaast blijven anderen zijn stelsel verwerpen, zonder dat ze daarom als vakman de minderen behoeven te zijn van de volgelingen. Het komt ook voor, dat men hem hoog prijst om zijn verdiensten voor de astronomie en gaarne gebruik maakt van de z.g. Prutenische tafels, die Erasmus Reinhold op grond van zijn theorieën berekend had, maar daaraan geen enkele uiting van adhaesie aan de heliocentrische gedachte verbindt. Na wat wij boven gezegd hebben over de tegenstelling tussen de twee stukken, waarin *De Revolutionibus* te verdelen is, zal het duidelijk zijn, dat dit een alleszins mogelijke houding is. Zelfs is ze, merkwaardig genoeg, in overeenstemming met een gedragslijn, die Copernicus zelf zich aanvankelijk voorgesteld had te volgen, namelijk wel nieuwe tafels te berekenen, en te publiceren, maar er niet bij te zeggen, op grond van welke hypothesen ze waren samengesteld[15].

De Prutenische tafels vormen eigenlijk het enige onmiddellijke (d.w.z. zonder medewerking van andere vernieuwers bewerkte) en het eerste algemeen opgemerkte gevolg van de publicatie van *De Revolutionibus*. Zij waren in vele opzichten beter dan de Alfonsinische, maar ze overtroffen deze toch niet zozeer als men onwillekeurig verwacht, wanneer men nalaat zich goed in de historische situatie te verplaatsen en de vernieuwing der astronomie reeds voltrokken waant, toen ze nog maar nauwelijks begonnen was. Dat dit moeilijk anders had kunnen zijn, hebben we boven reeds ten dele toegelicht: de invoering van het heliocentrische wereldbeeld als zodanig kon niet tot grotere nauwkeurigheid van de planetentafels leiden; deze kon alleen het gevolg zijn van een meer geslaagde voorstelling der waargenomen posities door de ontworpen bewegingsstelsels of van een verbetering in die posities zelf en voor dat laatste waren nieuwe en nauwkeuriger waarnemingen nodig. In dit opzicht stond Copernicus er echter, toen hij met zijn werk begon, niet noemenswaard beter voor dan Ptolemaios, terwijl hij zelf te weinig observator was om het ontbrekende door eigen activiteit aan te vullen. Dat hangt waarschijnlijk weer met den aard van zijn wetenschappelijke visie op de natuur samen. Overtuigd als hij is van den eenvoud en de harmonie van den bouw der sterrenwereld, is hij tevreden met het minimum aan waarnemingen dat voor de bepaling van een ideaal bewegingsstelsel voldoende is. Wat enerzijds inspirerend werkte, stond anderzijds de vereiste empirische instelling in den weg.

Hier wordt duidelijk, waaraan de astronomie na Copernicus allereerst behoefte had: verzameling van een omvangrijker en nauwkeuriger observatiemateriaal en als onmisbare voorwaarde daarvoor, verbetering van de astronomische waarnemingskunst. Zij heeft het geluk gehad, juist toen zij hem nodig had, in de persoon van den Deensen astronoom Tycho Brahe den man te zien verschijnen, die beide verlangens zou bevredigen.

B. Tycho Brahe[16]

20. In de twintig jaren die Tycho in zijn sterrenwacht Uraniborg op het eiland Hven heeft kunnen doorbrengen, heeft hij met behulp van verbeterde of nieuwe instrumenten en dank zij een ongeëvenaarde observatiekunst de waarnemende astronomie tot een voorheen ongekende en voor de uitvinding der kijkers ook niet weer bereikte hoogte opgevoerd. Welke zijn toestellen[17] en meetmethoden waren en welke waarnemingen hij ermee deed, kunnen we in verband met het technisch karakter van het onderwerp hier evenmin uiteenzetten als we hebben kunnen ingaan op de theoretische onderzoekingen van Copernicus. We moeten dus volstaan met enkele mededelingen over de resultaten die hij er mee bereikt heeft. Deze bestaan in de verbetering van verscheidene astronomische constanten, de ontdekking van twee nieuwe ongelijkheden in de maanbeweging, aanmerkelijk nauwkeuriger maan- en zonnetafels dan tot dusver hadden bestaan, een catalogus van 1000 vaste sterren met nieuw gemeten waarden van lengte en breedte, tafels voor atmospherische refractie, het bewijs, dat kometen niet, zoals men nog algemeen meende, atmospherische verschijnselen zijn en ten slotte een zeer omvangrijk materiaal van waargenomen planeetposities, dat, toen hij in 1597 van Hven vertrok, nog op bewerking wachtte. Tycho zelf zou met deze opsomming ongetwijfeld niet tevreden zijn geweest en er als eerste en voornaamste punt aan hebben toegevoegd: een nieuw theoretisch wereldbeeld, dat de voordelen van de stelsels van Ptolemaios en Copernicus verenigt en beider nadelen vermijdt. Hoewel namelijk zijn begaafdheid veel meer op het terrein van instrumentmaken en observeren lag dan op dat der theoretische constructie, heeft hij zich altijd sterk tot het laatste aangetrokken gevoeld en het als zijn eigenlijke levenstaak beschouwd, niet alleen door zijn waarnemingen de middelen ter bereiking van het doel der astronomie ter beschikking te stellen, maar dit doel ook zelf te verwezenlijken.

21. Tycho was een veel te scherpzinnig astronoom om niet in te zien, welk een aanzienlijke vereenvoudiging de overgang op het heliocentrische standpunt in het wereldbeeld bracht, maar hij was aan den anderen kant nog te zeer bevangen in de Aristotelische denkwijze om zich te kunnen onttrekken aan den invloed van de argumenten tegen de mogelijkheid van een aardbeweging die we door Ptolemaios hebben horen aanvoeren

(I: 79) en door Oresme en Copernicus weerleggen (II: 149; IV: 4). Hij voegt er in een briefwisseling met den Copernicaans gezinden astronoom Rothmann[18] een aan toe, dat grote bekendheid zou verwerven: als de aarde van West naar Oost draaide, zou een kanon dat naar het Westen gericht was, aan een kogel een veel grotere schootsverheid moeten meedelen, dan wanneer het Oostwaarts schoot. Immers in het eerste geval komt de aarde den kogel als het ware tegemoet, terwijl deze haar in het tweede moet inhalen. En op het tegenargument, dat het kanon en dus ook de kogel delen in de natuurlijke beweging der aarde, antwoordt hij met het voor de Aristotelische natuurbeschouwing essentiële bezwaar, dat het ondenkbaar is, dat deze natuurlijke beweging en de uiterst gedwongen beweging die de explosie van de lading aan het projectiel meedeelt, samen zouden kunnen bestaan, zonder elkaar te hinderen.

Ten slotte is hij met de overgrote meerderheid van zijn tijdgenoten van mening, dat het stelsel van Copernicus in strijd is met het Christelijk geloof. Hij hoopt nu een uitweg uit het dilemma te vinden door den overgang van Ptolemaios naar Copernicus slechts voor de helft mee te maken en dus te blijven staan bij de voorstelling, die wij (in IV: 6) als tussenstadium hebben leren kennen: met Copernicus laat hij de planeten om de zon wentelen (nauwkeuriger: om centra in de nabijheid van de zon), maar met Ptolemaios handhaaft hij de centrale positie van de aarde.

22. Tycho is er nooit in geslaagd, dit stelsel, dat hem zeer ter harte ging, verder te brengen dan tot den rang van een vernuftig in elkaar gezette denkbaarheid in den trant van de stelsels van Eudoxos, Herakleides en Aristarchos. Hij heeft het nooit uitgewerkt tot een volledige theorie van de bewegingen van zon, maan en planeten, zoals Ptolemaios en Copernicus die hadden gegeven, tot een theorie waarop nieuwe planetentafels konden worden gebaseerd en die daarin aan de waarneming kon worden getoetst. De oorzaak daarvan ligt waarschijnlijk ten dele wel in een tekort aan theoretische begaafdheid; er was echter ook nog een andere invloed werkzaam, die het hoe langer hoe moeilijker maakte, de waargenomen verschijnselen met de hulpmiddelen der oude astronomie, met excenters, epicykels en de weer in ere herstelde vereffeningspunten, te redden. Die invloed ging van hem zelf uit: zolang men het met Copernicus als hoogste ideaal had gezien, de planeetposities weer te geven met een nauwkeurigheid van tien boogminuten, hadden zich heel wat afwijkingen tussen theorie en waarneming laten verdoezelen. Toen echter Tycho de nauwkeurigheidsgrens van de metingen omlaag had weten te drukken tot twee boogminuten en soms zelfs tot een minuut of tot dertig seconden en hij dus van de theoretische verstelseling deze zelfde mate van nauwkeurigheid in de aansluiting aan de waarneming moest gaan eisen, namen de moeilijkheden van de kinematische afbeelding gestadig toe; het bleek al spoedig nodig te zijn, de excentriciteiten van de planetenbanen veranderlijk te denken en hun afmetingen pulserend te laten variëren en nog wilde de

aansluiting aan de waarneming niet gelukken. Tycho streefde een ideaal na, dat hij door zijn eigen werk hoe langer hoe onbereikbaarder maakte. Er zou een jonger genie nodig zijn, minder geremd door traditie, rijker aan phantasie en onversaagder in het denken, om dezen vicieusen cirkel te verbreken. Weer heeft de astronomie het geluk gehad, op het juiste ogenblik den man te zien verschijnen, waaraan ze behoefte had. We zullen over hem dadelijk uitvoerig spreken en zullen dan zien, dat hij het door Tycho verzamelde materiaal gebruikt heeft om niet Tycho's eigen ideaal, maar dat van Copernicus tot definitieve voltooiing te brengen en algemeen te doen aanvaarden.

23. Opnieuw komt hier de wonderlijke trek in Tycho's levenslot tot uiting, dat hij rechtstreeks of middellijk door zijn werk als astronoom steeds weer heeft bijgedragen tot de overwinning van denkbeelden die het geestelijk klimaat waarin hij zelf leefde en dat hem dierbaar was, hielpen verstoren. Door zijn waarnemingen over de Nova van 1572 en de kometen van 1577 en latere jaren bewees hij, dat dit verschijnselen aan den sterrenhemel waren en schokte daardoor het Aristotelisch dogma van de onveranderlijkheid van den hemel. In zijn streven, de bestaande planetenstelsels te verbeteren, voerde hij de methodiek die er aan ten grondslag lag en die voor hem de enig denkbare was, ad absurdum. En hij verschafte ten slotte aan Kepler de wapenen om een wereldstelsel dat hij zelf verwierp, boven zijn eigen stelsel te laten zegevieren.

24. Zelfs in een zo globale schets van Tycho's wetenschappelijke persoonlijkheid als we hier slechts kunnen geven, mag een opmerking over zijn alchemistische en astrologische denkbeelden niet ontbreken. Waar ze precies uit bestonden, kan in het midden blijven; dat hij ze bezat is echter niet onbelangrijk voor het inzicht in het werk dat hij als astronoom verricht heeft. Hij vermoedt namelijk een essentiëlen samenhang van het onderzoek naar de eigenschappen der ondermaanse materie met dat van de sterren en hij leeft in de overtuiging van een wezenlijk verband tussen de hemelverschijnselen en het gebeuren op aarde. Op grond van het eerste is hij altijd, soms zelfs ten koste van zijn werk als astronoom, de chemie blijven beoefenen; op Uraniborg trof men niet alleen een astronomisch observatorium aan, maar ook een scheikundig laboratorium. En het tweede heeft hem, ondanks de scherpe veroordeling die hij over de practijken der sterrenwichelarij heeft uitgesproken, altijd tot een adept van een ideëel verstane astrologie gemaakt. In beide facetten van zijn denken komt het diep gewortelde, in oorsprong stoïcijnse kosmologische geloof in den innerlijken samenhang van al het bestaande tot uiting, dat voor zovele grote natuuronderzoekers een bron van inspiratie geweest is.

Tycho heeft dit geloof zelf op zinrijke wijze verbeeld in een tweetal vignetten, waarmee in een van zijn werken titel- en sluitblad versierd zijn. Op het ene ziet men hem leunend tegen een globe met een passer in de hand en omhoog kijkend naar den hemel, met het randschrift *Suspicien-*

do despicio (omhoog blikkend zie ik omlaag); op het andere heeft hij den blik op een chemisch apparaat gericht; om zijn arm is een slang (symbool van de eveneens door astrologische overtuigingen beheerste geneeskunst) gewonden en de zinspreuk luidt: *Despiciendo suspicio* (omlaag ziende kijk ik omhoog)[19]. In moderne termen vertaald: de astronomie kan bijdragen leveren tot de atoomtheorie en de laatste helpt de processen die zich in de sterren afspelen, begrijpen.

C. Johannes Kepler[20]

25. Johannes Kepler werd in 1599 assistent van Tycho, die inmiddels Uraniborg verlaten had en te Praag een toevlucht bij Keizer Rudolf II gevonden had. Hij bezat reeds naam als astronoom op grond van een in 1596 gepubliceerd werkje, *Mysterium Cosmographicum*, waarin hij een poging had gedaan, om in het Copernicaans geordende planetenstelsel regelmaat te ontdekken en daardoor tevens te verklaren, waarom er juist zes planeten bestaan (de vijf van ouds bekende en de aarde).

Een van de consequenties van de Copernicaanse hypothese was geweest, dat de verhoudingen van de afstanden van de verschillende planeten tot de zon bekend waren geworden, zodat men een model op schaal van het stelsel kon construeren. Dat dit mogelijk was, wordt duidelijk als men bedenkt, dat bij Ptolemaios reeds de verhouding van de stralen van epicykel en deferens voor iedere planeet uit de waarneming kon worden afgeleid en dat de overgang van zijn stekel op het Copernicaanse voltrokken kan worden door voor een binnenplaneet de deferens te laten samenvallen met en voor een buitenplaneet den epicykel congruent te maken aan de baan van de zon om de aarde. Men kan dus in het eerste geval den epicykelstraal en in het tweede den straal van den deferens uitdrukken in den afstand aarde-zon als eenheid, maar heeft dan ook juist de afstanden van alle planeten tot de zon gevonden.

Kepler had nu in 1595 de ingeving ontvangen, dat het aantal zes der planeten samen moest hangen met het feit, dat er juist vijf regelmatige veelvlakken zijn en dat er een verband moest bestaan tussen hun afstanden tot de zon en de stralen van de om- en ingeschreven bollen van die veelvlakken. Deze ingeving volgend kwam hij tot het volgende inzicht in de structuur van het stelsel:

Wanneer men in de Saturnusspheer (d.i. dus de bol om de zon als middelpunt, waarop de baan van Saturnus ligt) een hexaëder beschrijft, zal de ingeschreven bol daarvan de Jupiterspheer zijn. Beschrijft men hierin een tetraëder en daarin weer een bol, dan verkrijgt men de Marsspheer en wanneer men, zo doorgaande, opv. den dodecaëder, den icosaëder en den octaëder gebruikt, vindt men als ingeschreven bollen opv. de spheren van de Aarde, van Venus en van Mercurius. Dat er juist zes

planeten zijn, volgt dus uit het feit, dat zes concentrische bollen juist het aantal tussenruimten leveren, waarin vijf regelmatige veelvlakken op de beschreven manier geplaatst kunnen worden. Kepler is overtuigd, dat dit geen toeval kan zijn en dat hij inderdaad een tip heeft opgelicht van den sluier, die het goddelijk scheppingsplan voor het mensenoog verhult.

26. Men behoeft zich niet lang af te vragen, in welke geestelijke atmospheer wij hier verkeren. De overtuiging van een mathematisch beschrijfbare structuur van de wereld, theologisch geformuleerd als het geloof, dat God zich bij de schepping van de wereld door wiskundige overwegingen heeft laten leiden, de onwrikbare zekerheid, dat eenvoud tevens een kenmerk van waarheid is en dat het wiskundig eenvoudige identiek is met het harmonisch-aesthetische, het partij trekken ten slotte van het opvallende feit, dat er juist vijf veelvlakken bestaan, die aan de hoogste eisen van regelmatigheid voldoen en die dus noodzakelijk iets met de ware wereldstructuur te maken moeten hebben, het zijn alles onmiskenbare symptomen van de Pythagoraeïsch-Platonische wereldbeschouwing, die hier zo levend blijkt te zijn als ooit. Het is de denkstijl van den *Timaios*, die na in een ononderbroken, zij het ook soms onzichtbaar wordende traditie de gehele Middeleeuwen door de overheersing van het Aristotelisme te hebben getrotseerd, in de zestiende eeuw weer tot volle ontplooiing komt.

27. Er is echter intussen een nieuw element ingekomen, dat er voor de ontwikkeling der natuurwetenschap eerst de volle waarde aan geeft. Intuïtieve inzichten in het innerlijke der natuur lopen altijd de kans, wel bekoorlijk, maar niettemin onvruchtbaar te zijn; of ze inderdaad iets van waarheid bevatten, kan alleen de empirische controle leren en de phantasie, die voor de wetenschap een zo onmisbaar element vormt, kan toch nooit zonder wantrouwen worden aangezien. Nu is er wellicht nooit een natuuronderzoeker geweest, die zo rijk aan ingevingen was als Kepler en die er tegelijk zo kritisch tegenover stond, wiens phantasie een zo hoge vlucht nam en wiens hoofd er zo koel bij bleef, die zich zo kon laten meeslepen door zijn verbeelding en die dan zo nuchter en geduldig kon gaan zitten narekenen, of het ook houdbaar was wat ze hem voortoverde. Eerst deze combinatie van bezieling en exactheid heeft het Pythagoraeïsme waarlijk vruchtbaar gemaakt en de wiskundige mystiek in den dienst der wetenschap gesteld.

28. Aan Kepler's onhoudbaar gebleken phantasie van den samenhang tussen het planetenstelsel en de Platonische lichamen (even onhoudbaar als het verband, dat Plato zelf tussen vier van hen en de atoomvormen der elementen had willen leggen (I: 17)) dankt de astronomie een van de vruchtbaarste contacten die ooit tussen twee van haar beoefenaren gelegd zijn. Zijn ingeving uitwerkend zag Kepler zich genoodzaakt, rekening te houden met de excentriciteiten van de planetenbanen en dus de mathematische spheren die hij eerst om en in de opvolgende polyeders beschreven had, te vervangen door concentrische bolschalen van een zo-

danige dikte, dat de excenter er, aan beide oppervlakken rakend, plaats in kon vinden. Daartoe moest hij echter over de juiste waarden van deze excentriciteiten beschikken en er was niemand die hem daarover beter kon inlichten dan de reeds lang in geheel Europa als observator beroemde Tycho. En zo is dan als vrucht van Kepler's zelfkritiek en accuratesse de relatie tot stand gekomen waaraan de astronomie haar definitieve hervorming te danken zou krijgen.

29. Wij moeten in dit werk het biographisch element zozeer op den achtergrond houden, dat we niet kunnen spreken over de menselijke moeilijkheden die den omgang tussen twee zo markante en verschillend geaarde persoonlijkheden, den autoritairen Tycho en zijn veel jongeren, uiterlijk bescheiden maar, als het er op aankwam, verrassend zelfbewusten assistent in den weg hebben gestaan. We beperken ons tot de zuiver wetenschappelijke geschilpunten die hun samenwerking belemmerden. Vooreerst was Kepler overtuigd Copernicaan en voelde niets voor het compromisstelsel dat Tycho zo dierbaar was en dat deze nog op zijn sterfbed in zijn aandacht zou aanbevelen[21]; en vervolgens - men moet zich in het denken van den tijd verplaatsen om de draagwijdte van het meningsverschil te beseffen - had Kepler overwegende bezwaren tegen de bijkomstige positie die de zon zowel in het stelsel van Tycho als in dat van Copernicus innam. Beiden hadden de absidenlijnen van alle planetenbanen elkaar laten snijden in een mathematisch punt in de nabijheid van de zon en aan deze zelf geen andere dan een optische functie toegekend: zij verlicht het planetenstelsel, maar bestuurt het niet. Dat nu - het is opnieuw een voorbeeld, hoe sterk de invloed kan zijn dien supra-rationele voorstellingen in de meest exacte wetenschappen kunnen uitoefenen - is voor Kepler op religieuse gronden onaanvaardbaar; de verering die hij de zon toedraagt, staat het niet toe. De zon is voor hem niet alleen licht- maar ook krachtbron voor de wereld; de bewegingen der planeten hebben niet alleen om haar en in haar licht, maar ook door haar toedoen plaats. Hij drukt dit in een mystieken vorm uit door de drieheid van zon, sterrenspheer en de wereldruimte tussen beide te vergelijken met de H. Drieëenheid, waarbij de zon als rustend centrum en krachtbron met den Vader overeenstemt, de spheer der vaste sterren, die door haar rust ruimte schept voor de bewegingen der planeten, met den Zoon, die immers ook de schepping voortbrengt en in stand houdt, en de bewegende kracht van de zon, die zich in de binnenruimte van het heelal uitbreidt, met den H. Geest.

Dat lijkt misschien gezocht, onvruchtbaar en onbelangrijk. Maar het gaat er niet zozeer om, wat een beschouwing als deze een hedendaagsen lezer zegt als om wat ze voor Kepler's eigen denken betekend kan hebben. In zijn geest liggen mystiek, wiskunde, astronomie en physica vlak bij elkaar, ja door elkaar heen. Den overgang van het wereldbeeld naar de H. Drieëenheid voltrekt hij zonder de minste moeite en het is geenszins

ondenkbaar, dat de gelijkenis die hij tussen beide ziet, hem mede heeft geïnspireerd tot een van zijn vruchtbaarste denkbeelden, de opvatting van de zon als causa efficiëns van de planetenbeweging.

30. Voorlopig was hij echter aan de uitwerking van dit denkbeeld nog niet toe, maar stond hij voor de concrete taak, uit Tycho's metingen van posities van Mars een bewegingsstelsel voor deze planeet af te leiden. Van de moeilijkheden die hij bij de uitvoering van dit werk te overwinnen heeft gehad en die hem jarenlang bezig hebben gehouden, zijn we nauwkeurig op de hoogte. Kepler heeft namelijk, in deze geheel afwijkend van de antieke mathematische traditie, de gewoonte, den lezer deelgenoot te maken van al de overleggingen die hem tot het uiteindelijke resultaat van zijn onderzoek hebben gevoerd, maar dat dan ook zo volledig te doen, dat hij hem geen detail spaart en even omstandig verhaalt, welke dwaalwegen hij bewandeld heeft en hoe hij daarvan is teruggekomen als hoe hij ten slotte de waarheid toch nog heeft achterhaald.

Van de wijze, waarop hij de juiste toedracht van de Marsbeweging op het spoor is gekomen, brengt hij in het bijzonder in zijn grootste werk, de *Astronomia Nova*, een uitvoerig verslag uit, dat, voor wie den moed heeft zich er in te verdiepen, een fascinerend relaas blijkt te bevatten van opgewekte en weer teleurgestelde verwachtingen, van nieuwe pogingen en nieuwe ontgoochelingen, van ergernis om wat later domheden bleken, van onmenselijk rekenwerk en steeds door van een koppig volhouden in de vaste overtuiging dat eenmaal uit Tycho's getallenreeksen de schone en eenvoudige waarheid zal oplichten, een ware worsteling met den Engel, die ten slotte zijn zegen ook niet onthoudt. Het voert tot in de hoogste regionen van de toenmalige wetenschap en er kan daarom geen sprake van zijn, het hier na te vertellen. Maar aan den anderen kant: wij staan hier voor een der belangrijkste gebeurtenissen uit de geschiedenis van het denken, misschien wel het meest eigenlijke keerpunt van de vernieuwing, die het thema van dit boek vormt; daarom willen we trachten, hier althans de grote lijn van het uitgevoerde onderzoek te laten zien en zo een indruk te geven van wat zich tussen het jaar 1601, waarin Kepler na Tycho's dood voor het eerst de vrije beschikking over de Mars-waarnemingen kreeg en het jaar 1609, waarin de *Astronomia Nova* verscheen, in zijn vurigen en nuchteren, phantastischen en exacten geest heeft afgespeeld.

31. Het leek aanvankelijk zo eenvoudig: er waren observaties in overvloed beschikbaar en de toe te passen methode was bekend. Men moest proberen, een excentrische beweging te verzinnen waarin de waargenomen posities pasten en, als dat niet gelukte, het opnieuw beproeven met verdeelde excentriciteit, d.w.z. door ook een vereffeningspunt aan te nemen (I: 73). Dat bracht een omvangrijk rekenwerk met zich mee, maar dat schrikte Kepler niet af en hij hoopte dan ook in enkele maanden klaar te zullen komen. Die verwachting werd al dadelijk beschaamd. Er waren eerst technische moeilijkheden te overwinnen, die samenhingen

met het boven behandelde meningsverschil over de positie van de zon, en ook daarna bleek de berekening (die nog geheel zonder logarithmen moest worden uitgevoerd) zo moeilijk te zijn, dat eerst na enkele jaren een hypothese tot stand was gebracht waardoor zich de gebruikte Marsposities met een nauwkeurigheid van twee boogminuten lieten voorstellen. Het ontworpen beeld bestond uit het volgende: de planeet doorloopt (Fig. 16) een excenter met verdeelde excentriciteit. Het middelpunt daarvan is *C*; de zon staat in *Z. V*, zo op de lijn der absiden gelegen, dat *CV=ZC*, is het vereffeningspunt. De verhouding van *CZ* tot den straal van den cirkel bedraagt 0,0566. Het aphelium ligt in Leo 28° 48′ 55″, d.w.z. de zon ziet het punt *Q* aan den hemel in een punt met astronomische lengte 148° 48′ 55″.

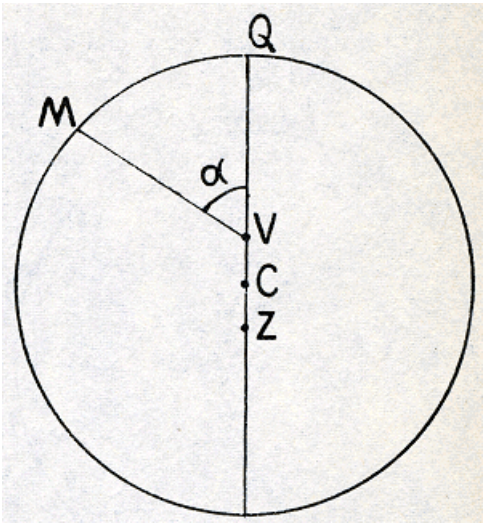


Fig. 16. Keplers eerste voorstelling van de beweging van Mars *(Hypothesis vacaria). C*: baancentrum. *Z*: zon. *V*: vereffeningspunt. *CZ = CV.M*: Mars. α verandert evenredig met den tijd, verstreken na doorgang van de planeet door het aphelium *Q*. λ_Q = 148° 48′ 55″. *CZ*/*CQ* = *e* =0,09264

32. Dat was een resultaat, waarmee de meest veeleisende astronoom zich tevreden had kunnen verklaren en dat de stoutste verwachtingen van Copernicus overtroffen zou hebben. Maar Kepler is nooit tevreden; zijn instinct waarschuwt hem steeds, niet te snel te menen, dat het einddoel al bereikt is. Weliswaar werden alle gebruikte Marsposities met een bevredigende nauwkeurigheid voorgesteld, maar deze lagen alle òf bij een van de absiden òf ongeveer 90° daarvan verwijderd. Hij ging daarom ter controle ook eens voor gevallen, waarin die afstand 45° of 135° bedroeg, berekende en waargenomen posities vergelijken en vond toen een afwijking van acht boogminuten. Dit was voor hem een voldoende grond om de gehele theorie op te geven. Ptolemaiosen Copernicus, bij wie de nauwkeurigheidsgrens bij tien minuten lag, zouden een afwijking van acht minuten zonder bezwaar als bevestiging van de juistheid van hun onderstellingen hebben kunnen beschouwen, maar, aldus Kepler in de befaamde slotwoorden van het 19e hoofdstuk:

> ons, wien God's goedheid in Tycho Brahe een allerzorgvuldigsten observator heeft geschonken, door wiens waarnemingen de fout van 8′ in de volgens Ptolemaeus uitgevoerde berekeningen in het licht wordt gesteld, past het, met een dankbaar gemoed deze weldaad Gods te erkennen en er gebruik van te maken. Laten we ons dus moeite geven om, steunend op de

> bewijsgronden voor de onjuistheid van de gemaakte onderstellingen, uiteindelijk den waren vorm van de hemelbewegingen op het spoor te komen. Ik zal zelf naar mijn vermogen in het volgende op dezen weg voortgaan... Deze acht minuten alleen hebben dus den weg gewezen naar de totale hervorming der astronomie; zij zijn de bouwstof geworden voor een groot deel van dit werk.

33. Op dit punt gekomen, laat Kepler eerst de constructie van de Marsbaan rusten en stelt een minutieus onderzoek in naar de juiste toedracht van de beweging van de aarde om de zon. Daar deze beweging zich immers volgens de theorie van Copernicus afspiegelt in de tweede ongelijkheid van de planetenbeweging, zullen de onvolkomenheden van de theorie der aardbeweging zich als het ware voortplanten in die van de planetenbeweging. Met behulp van een geniale nieuwe methode om de relatieve afstanden van de aarde tot de zon te bepalen (hij slaagt er in, de aardbaan in gedachten van een vast punt van de Marsbaan uit te observeren) kan hij aantonen, dat ook voor de aarde de excentriciteit verdeeld moet worden, dat ook haar baan een vereffeningspunt bezit. Weer geldt

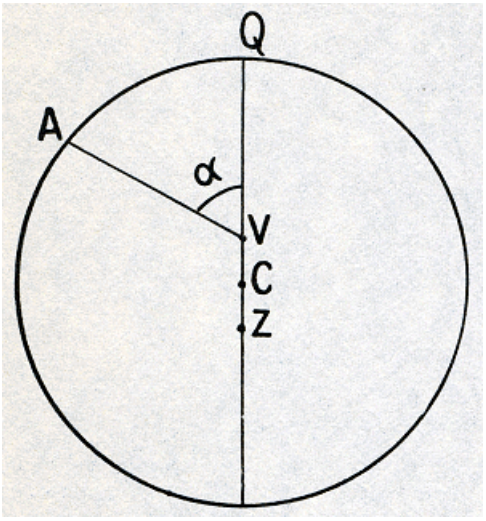


Fig. 17. Keplers voorstelling van de beweging van de Aarde. *Z*: zon. *V*: vereffeningspunt. *C*: baancentrum. *A*: Aarde. *CZ = CV*. α verandert evenredig met den tijd, verstreken na doorgang van de aarde door het aphelium *Q*. λ_Q = 95° 30′ *CZ*/*CQ* = *e* = 0,018

(Fig. 17), met dezelfde betekenis der letters als boven (alleen is de planeet *P* nu door de aarde *A* vervangen.) *CV = CZ*, terwijl nu *CZ*/*CQ* = 0,009 en hetaphelium *Q* op een lengte van 185° 30′ ligt.

34. Tot zover is er nog niets geschreven, dat ook niet in den *Almagest* zou hebben kunnen staan. Maar Kepler durft nu een consequentie aan die Ptolemaios wel had kunnen, maar nooit heeft durven trekken. Trachtte deze, als hij een vereffeningspunt gebruikte, door invoering van een vereffeningscirkel te verbloemen, dat in feite een niet-eenparige cirkelbeweging was ingevoerd en dus het Platonisch axioma grovelijk was geschonden, Kepler neemt deze conclusie onbekommerd voor zijn rekening en verdiept zich liever in de vraag naar de wijze, waarop de snelheid bij het doorlopen van de baan verandert dan dat hij voor het feit der verandering de ogen zou sluiten. Hij bewijst eerst bij benadering, dat de

lineaire snelheden in het perihelium en het aphelium zich omgekeerd verhouden als de afstanden van deze punten tot de zon en breidt dit eenvoudige resultaat door een stoutmoedige, maar ongerechtvaardigde generalisering tot alle punten van de baan uit. Hij komt zo tot de voor alle planeten algemeen geldig gedachte betrekking, dat voerstraal en snelheid omgekeerd evenredig met elkaar zijn; we zullen deze (onjuiste) wet verder de stralenwet noemen.

Het thans bereikte punt in de ontwikkeling laat zich samenvatten in de volgende twee uitspraken:

I. De planeten doorlopen cirkels met verdeelde excentriciteit. In een van de uiteinden van het excentriciteitslijnstuk (*VZ*) staat de zon.
II. De lineaire snelheid van een planeet in haar baan is omgekeerd evenredig met haar afstand tot de zon.

35. Kepler's gehele constructie is tot dusver zuiver kinematisch geweest en is dus even goed verenigbaar met de door Osiander verdedigde mathematische opvatting, dat van de opgestelde hypothese niet meer verlangd wordt dan dat de resultaten waartoe ze voert met de waarneming zullen overeenstemmen, als met de realistische, dat zij de ware toedracht van het verloop der bewegingen moet uitdrukken. Welke van deze twee zienswijzen Keplers eigene was, blijft bij de lectuur van zijn werken niet lang verborgen. Met overtuiging stelt hij zich op het tweede standpunt, dat, naar hij meent, ook dat van Copernicus is geweest, en hij keurt dan ook de voorrede van Osiander volstrekt af. Van een hypothese wordt niet alleen bruikbaarheid, maar ook waarheid verlangd en wanneer eenzelfde verschijnsel door twee verschillende hypothesen gered blijkt te kunnen worden, moet men physische of metaphysische argumenten trachten op te sporen om uit te maken, welke van deze twee in de natuur in feite is gerealiseerd of aan te tonen, dat ze geen van beide waarheid bevatten.

Wij hebben boven reeds een der kriteria leren kennen, met behulp waarvan Kepler dergelijke beslissingen wil treffen: eenvoud van quantitatieve relatie, synoniem met harmonie, is het kenmerk van waarheid; het stelsel van Copernicus verdient de voorkeur boven dat van Ptolemaios, omdat het een overzichtelijker, het gevoel voor orde en regelmaat meer bevredigend wereldbeeld levert.

36. Hier komt nu echter in de *Astronomia Nova* een nieuwe overweging bij, die in den volledigen titel van het werk reeds staat aangekondigd. Die titel luidt, voorzover hij hier ter zake doet: *Astronomia Nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ *seu Physica Coelestis*, d.w.z. Nieuwe Astronomie, naar oorzaken behandeld, of Physica des Hemels. Deze titel beduit een program: Kepler zal zich niet tevreden stellen met de kinematische beschrijving van het verloop der gebeurtenissen aan den hemel, maar hij zal trachten, ook de oorzaken op het spoor te komen waardoor zij in het leven worden geroepen; aan de kinematica zal hij een dynamica des hemels toevoegen.

Deze opvatting van zijn taak hangt natuurlijk nauw samen met het

realistische standpunt dat hij ten aanzien van het wezen van een astronomische hypothese inneemt. Wanneer men wil verklaren, hoe het komt, dat iets gebeurt, zal men toch eerst zeker moeten weten, dat het gebeurt. Het heeft weinig zin te vragen naar de oorzaken die een zeker bewegingsstelsel in het leven zouden kunnen roepen, wanneer men dat stelsel niet beschouwt als een uitdrukking van de realiteit, maar als een mathematische fictie, die in staat stelt, door berekening resultaten te bereiken die tegen empirische controle bestand zijn. Tenzij men die oorzaken ook als mathematische ficties opvat, hetgeen een houdbaar, maar niet Kepler's standpunt is. Omgekeerd zal de overtuiging, dat een kinematisch beeld de ware toedracht weergeeft, des te sterker worden, naarmate men het beter causaal kan verklaren.

37. Zoals blijken zal, is Kepler er niet in geslaagd, voor de dynamica der planetenbeweging resultaten van blijvende waarde te bereiken. Dat neemt niet weg, dat de beschouwingen die hij naar aanleiding van de stralenwet over de oorzaken van de hierdoor gekarakteriseerde planetenbeweging houdt, historisch van het allerhoogste belang zijn. Want, als we afzien van de toepassing van het impetusbegrip op de bewegingen van hemelspheren die we bij de Parijse Terministen aantroffen (II: 112), wordt hier de eerste stap gezet op een weg, die tot een der allerbelangrijkste resultaten der klassieke natuurwetenschap, de mechanica des hemels, zal voeren. En er zijn weinig plaatsen in de geschiedenis der wetenschap aan te wijzen, waar men van zo nabij een ingrijpende richtingsverandering in het denken - en nog wel een die met het thema van dit boek ten nauwste verband houdt - kan gadeslaan.

Waar die verandering uit bestaat, wordt wellicht het allerduidelijkst door Kepler zelf gezegd in een van de aantekeningen, die hij in de tweede uitgave van het *Mysterium Cosmographicum* (1631) aan den tekst van 1596 heeft toegevoegd. Hij had in het tweede hoofdstuk naar aanleiding van het feit, dat de lineaire snelheid van een planeet met toenemenden afstand tot de zon kleiner wordt, geschreven[22]:

> Wij moeten dus een van de volgende twee feiten vaststellen: òf de bewegende zielen (der planeten) zijn des te zwakker, naarmate zij verder van de zon verwijderd zijn òf er huist slechts één bewegende ziel in het centrum van alle banen, t.w. de Zon, die een lichaam des te heftiger aandrijft, naarmate het dichter bij is, maar die bij de verder verwijderde wegens den afstand en de (hiermee samenhangende) verzwakking van vermogen, krachteloos wordt.

In 1623 voegt hij hier deze noot aan toe[23]:

> Wanneer men inplaats van ziel(*anima*) het woord kracht(*vis*) zet, heeft men precies het principe, waarop de physica des hemels in de Marscommentaren (d.i. de *Astronomia Nova*) is opgebouwd.

38. Het gaat hier slechts om de vervanging van een woord door een ander, maar deze beide woorden vertegenwoordigen geheel verschillende

denkrichtingen. *Vis* lezen waar eerst *anima* stond betekent een animistische zienswijze voor een mechanistische opgeven. Kepler wil, zoals hij het elders uitdrukt, de natuur niet langer zien *instar divini animalis* (als een goddelijk bezield wezen), maar *instar horologii* (als een uurwerk)[24].

Aanvankelijk had hij op het voetspoor van J.C. Scaliger, wiens *Exercitationes Exotericae* hij in zijn jeugd met grote aandacht had bestudeerd[25], de Stoïcijnse opvatting gehuldigd, dat een planeet een intelligentie of geest (*mens*) bezit, die hem in staat stelt, bewust zijn weg door de hemelruimte te vinden. De in de Middeleeuwen overheersende voorstelling van hemelse intelligenties, die de spheren waaraan de planeetlichamen bevestigd zijn bewegen, was onhoudbaar gebleken, toen Tycho uit zijn waarnemingen over kometen had afgeleid, dat deze in hun loop al die spheren zouden moeten doorboren, maar de animistische grondgedachte had die weerlegging van haar gebruikelijke uitwerking overleefd en was, zoals blijkt, zelfs in sterkeren vorm dan ooit te voren aanvaard.

39. Nauwgezet als steeds, was Kepler zich nu echter gaan verdiepen in de vraag, hoe zulk een planeetgeest het wel aan zou moeten leggen, om uit eigen inzicht zijn lichaam de ingewikkelde bewegingen te laten volbrengen die het volgens de astronomie uitvoert en dit leidde reeds in de eenvoudigste gevallen tot aanzienlijke

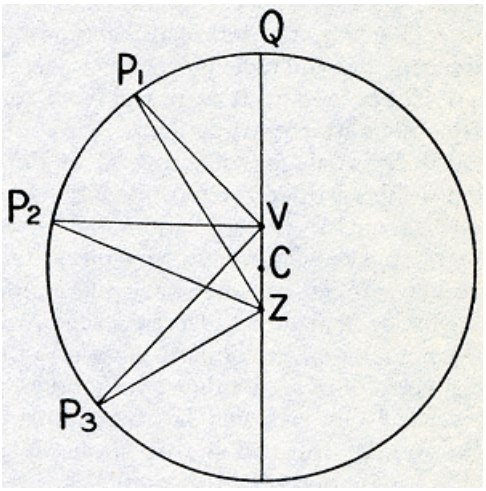


Fig. 18. De planeetgeest moet zijn lichaam zo bewegen, dat de juiste afstanden tot Z in acht worden genomen, terwijl CP_i constant moet zijn en $\angle QVP_i$ eenparig moet veranderen.

moeilijkheden. Wanneer de baan een eenvoudige excenter is, wanneer dus de planeet (Fig. 18) eenparig een cirkel doorloopt om C als centrum, terwijl de zon in Z staat, kan men zich desnoods nog voorstellen, dat de geest, het lichaam eenparig voortstuwend, telkens zorgt voor de juiste afstanden P_1Z, P_2Z, P_3Z enz., door op de schijnbare middellijn van Z te letten en dat hij er zodoende in slaagt, het op een constanten afstand van het onzichtbare mathematische punt C te houden. Bij verdeling der excentriciteit wordt dat echter al veel moeilijker, omdat hij dan den veranderlijken afstand tot Z zo moet combineren met de veranderlijke lineaire snelheid, dat daaruit een constante afstand tot C resulteert. En bij een epicyclische beweging wordt het helemaal onbegrijpelijk, hoe het mathematische

epicykelcentrum, waarin geen geest kan huizen, er in slaagt, al dan niet eenparig den deferens te doorlopen.

40. Dit alles wordt in Hoofdstuk II van de *Astronomia Nova* uitvoerig overwogen, maar daarmee is de zaak nog lang niet afgedaan. Kepler komt er nog herhaaldelijk op terug en geeft het denkbeeld, dat hem blijkbaar na aan het hart lag, slechts schoorvoetend en niet na nog een tijdlang de mogelijkheid van een van buiten af te verlenen steun te hebben toegelaten, op. Dat hij het ten slotte laat varen, geschiedt vooral onder den indruk van de eenvoudige quantitatief formuleerbare relatie die hij in de stralenwet uitspreekt en die onweerstaanbaar de gedachte aan een hefboomwerking volgens de Aristotelische opvatting opwekt. De planeet wordt des te langzamer bewogen, schijnt dus des te zwaarder te zijn, naarmate zij verder van de zon verwijderd is; een gewicht aan een hefboom lijkt ook des te zwaarder (d.w.z. werkt des te sterker), naarmate het verder van het steunpunt afhangt. Heeft het nu wel zin, in het eerste geval een bewuste intelligentie in de planeet, in de zon of in beide aan te nemen en deze in het tweede niet toe te kennen aan het juk en de gewichten die er aanhangen? Wanneer we de gedragingen van den hefboom toeschrijven aan de werking van zekere natuurkrachten, die de Schepper in Zijn schepping werkzaam heeft gesteld en onveranderd in stand houdt waarom dan niet de bewegingen der hemellichamen?

41. Dit betoog heeft natuurlijk voor een getrouwen volgeling van Aristoteles niets overtuigends: hemel en aarde verschillen zo wezenlijk van elkaar, dat analogieredeneringen als de bovenstaande volstrekt ongeoorloofd zijn. Minder rechtzinnige aanhangers hadden dit bezwaar al niet meer gevoeld: we zagen immers de Parijse Terministen hun door aardse bewegingsverschijnselen geïnspireerd impetusbegrip onbekommerd op de bewegingen van de hemelspheren toepassen. En sedert Copernicus de aarde als een planeet had leren beschouwen, was de oude tegenstelling tussen het hemelse en het ondermaanse tot in den grond verstoord. Hoe zal men een verschil in aard kunnen volhouden, als er geen ruimtelijk onderscheid meer is? Ontdaan van het beschermend omhulsel, dat Osiander in zijn voorrede er over had geworpen, niet langer op te vatten als mathematische fictie, maar optredend met volle aanspraak, de reële structuur der wereld weer te geven, openbaart het stelsel van Copernicus onverbloemd de vernietigende, uitwerking die het op de traditionele wereldbeschouwing heeft.

42. Kepler vervangt dus ziel door kracht. Verandert daarmee nu werkelijk veel? In zekeren zin natuurlijk niet. Ziel is een onbekend agens, waarvan het bestaan wordt aangenomen om zekere gedragingen van levende lichamen te verklaren. Kracht is een onbekend agens, waarvan het bestaan wordt aangenomen om zekere gedragingen van levenloze lichamen te verklaren. Vast staan in beide gevallen alleen de gedragingen. Men verkrijgt geen dieper of juister inzicht door hun onbekende oorzaak met een of anderen naam te gaan benoemen.

In een anderen zin verandert er heel veel. Wanneer men de bewegingen der planeten inplaats van aan een ziel aan een kracht gaat toeschrijven, geeft men te kennen, dat men ze wil beschouwen als levenloze lichamen en dat ze dus vallen onder de hiervoor geldende wettelijkheid, die die der mechanica is. Zou men gaan spreken over de intelligentie van een hefboom, dan zou men daardoor uitdrukking geven aan den wens, dit toestel te beschouwen als een bewust levend wezen, dat dus onder de daarvoor heersende wettelijkheid, die der psychologie, valt. In beide gevallen schept men eenheid, waar verscheidenheid was en dat kan zeer bevorderlijk zijn voor het wetenschappelijk denken. In Kepler's tijd bestond er een mechanica die voldoende ontwikkeld was om het probleem der planetenbeweging aan te durven en die, voorzover die moed overmoed bleek te zijn, zich al spoedig tot de hoogte van haar taak zou opwerken. Er bestond geen psychologie die iets met de gedragingen van een balans zou hebben weten te beginnen. Kepler deed dus een eersten stap in de goede richting toen hij in de theorie der planetenbeweging *vis* ging zeggen inplaats van *anima*, niet omdat het eerste woord iets kon verklaren, wat het tweede niet verklaren kon (in feite verklaarden ze geen van beide iets), maar omdat het gebruik van het eerste een aankondiging was van het streven, na te gaan wat men met behulp van de mechanica van de planetenbeweging kon leren verstaan.

43. Men kan hier in een dubbelen zin van mechanisering spreken, al naar men deze onderschikking van de hemelbewegingen aan de wetenschap der mechanica op het oog heeft of nadruk legt op de opvatting der wereld als een door een bovenwereldlijke intelligentie bewust geconstrueerde machine. Geen van beide opvattingen sluit echter naar Kepler's inzicht in, dat de hemellichamen levenloos zouden moeten zijn. Aan de Aarde is hij althans altijd een vegetatieve ziel blijven toekennen[26]. In de *Astronomia Nova* wordt daarvan echter afgezien.

44. De proclamering van de mechanistische opvatting van de planetenbeweging, die het woord *vis* inhoudt, beduidde natuurlijk nog niet meer dan de opstelling van een werkprogram. Kepler stond voor de taak, nader aan te geven, welke krachten het waren die de bewegingen der planeten beheersten en volgens welke wetten zij werkten. Daar krachten echter onbekende agentia zijn, kon dat alleen maar geschieden door te verwijzen naar analoge gevallen of door een specifieke kracht ad hoc in te voeren. Kepler doet het eerste. Onder den indruk van de lectuur van het in 1600 verschenen werk *De Magnete* van den Engelsen medicus William Gilbert (waarover meer in IV: 172-182) schetst hij een magnetische theorie van het planetenstelsel.

45. Hij ontleent daartoe aan Gilbert de opvatting van de aarde als een grote magneet en breidt deze uit op de andere planeten en de zon. Het magnetisme van de zon wordt gedacht geconcentreerd te zijn in cirkelvormige vezels langs het vlak van de ecliptica. Hieruit wordt nu volgens

een voorstelling, die we reeds uit de lichttheorieën van Grosseteste en Bacon kennen (II: 73), een immateriële species straalsgewijs uitgezonden. Een wenteling, die de zon om een as loodrecht op de ecliptica uitvoert (een anticipatie van de enkele jaren later door Scheiner inderdaad ontdekte aswenteling van de zon) brengt nu deze species in draaiende beweging en deze roterende species grijpt nu de planeten aan, die door hun traagheid anders in rust zouden blijven, en sleept ze met zich mee. Daar zij alle magneten zijn, houden hun assen op kleine langzame schommelingen na een vasten stand in de ruimte. Daar de species slechts in een vlak wordt uitgestraald en zich dus over cirkels van aangroeienden diameter uitbreidt, de omtrekken van die cirkels echter met de diameters evenredig zijn, vermindert haar dichtheid omgekeerd evenredig met de eerste macht van den afstand tot de zon en niet met de tweede, zoals bij ruimtelijke uitbreiding het geval zou zijn. De bewegende kracht die op de planeten werkt, neemt dus in dezelfde verhouding af en, daar volgens de grondwet der (nog steeds) peripatetische dynamica de kracht evenredig is met de snelheid die ze veroorzaakt, is dus de snelheid van de planeet omgekeerd evenredig met haar afstand tot de zon. Hiermee is de stralenwet voor elke planeet dynamisch afgeleid.

46. Het is natuurlijk niet moeilijk, de onhoudbaarheid van deze afleiding aan te tonen. Kepler identificeert voor de aarde de magnetische en de geographische polen, houdt dus den op kleine schommelingen na onveranderlijken stand van de aardas in de ruimte voor hetzelfde verschijnsel als den onveranderlijken stand van een magneetnaald die op aarde in een kring wordt rondgedragen. Hij mist het inzicht, dat traagheid der materie in haar algemenen vorm in een volharden in een bewegingstoestand bestaat en dat volharden in rust slechts een bijzonder geval daarvan is. En ten slotte past hij een onjuiste dynamische grondwet toe en komt tot een resultaat dat niet algemeen geldig is. En het grootste probleem blijft natuurlijk, hoe het komt, dat niet iedere planeet een cirkel om de zon als centrum beschrijft.

En toch: we staan hier aan den oorsprong van de mechanica des hemels, een tak van de natuurwetenschap die meer dan een andere de richting heeft aangegeven waarin zij zich als geheel zou ontwikkelen, het ideaal heeft opgesteld dat zij voor ogen zou houden, de atmospheer heeft bepaald waarin zij verder zou leven. De dynamische behandeling van de hemelverschijnselen doet hier, in de eerste jaren van de zeventiende eeuw, haar eerste onzekere schreden; voordat de eeuw zou aflopen, zou zij onder leiding van Newton het doel dat Kepler voor ogen had gezweefd, bereikt hebben.

Wat Kepler het meest weerhouden heeft om op dit gebied meer dan eerste schreden te doen, is vooral de beperktheid van zijn traagheids-inzicht geweest. Inertie - het woord is door hem ingevoerd - is voor hem alleen traagheid in den zin van het gewone spraakgebruik: zelf niets doen,

in rust willen blijven. Rust eist evenmin een oorzaak als duisternis; het zijn geen zijnden, maar privaties van zijn. Beweging echter kan evenmin zonder oorzaak ontstaan en in stand worden gehouden als licht.

47. Deze opvatting brengt natuurlijk moeilijkheden met zich mee, wanneer het er om gaat - en Kepler stond voor die taak in een briefwisseling met den astronoom Fabricius - te antwoorden op de bekende physische tegenwerpingen tegen het denkbeeld van een bewegende aarde en wel speciaal op het argument van het Oostelijk of Westelijk gerichte kanon, dat Tycho als nieuw element in de discussie had gebracht. Op grond van zijn traagheidsbeginsel kan hij niet instemmen met de opvatting van Copernicus, dat alle aardse lichamen, dus ook wolken, vogels, een opgeworpen steen, van nature in de aardbeweging delen; hij heeft behoefte, een reëlen physischen band te zien die hen daartoe dwingt. Deze wordt echter geleverd door de magnetische attractie die de aarde op alle lichamen uitoefent. Ieder voorwerp dat zich op zekeren afstand van het aardoppervlak bevindt, is te beschouwen als top van een aan de aarde rakenden kegel, die binnen zijn mantel al de banden insluit die het lichaam aan de aarde binden en die het dwingen, met haar mee te draaien. De resultante van de krachten die zij uitoefenen, is verticaal omlaag gericht en daardoor kost het moeite, het lichaam omhoog te bewegen. Geeft men het echter een zijdelingsen stoot, dan verzet zich altijd slechts een gedeelte der bindingen en een ander gedeelte werkt mee. Voorkeur voor een richting is er niet en daarom hangt de schootsverheid ook niet van de richting af. Wanneer de aantrekkende krachten er niet waren, zou het Aristotelische argument van den opgeworpen en weer terugvallenden steen ook al beslissend tegen de aardbeweging geweest zijn; de steen volgt tijdens zijn verticale beweging de aarde alleen, omdat zij hem zo stevig vasthoudt. Hij zou het niet meer geheel kunnen doen, wanneer hij op grotere hoogte kwam waar de aantrekkingskracht verzwakt is; om deze reden is de omloopstijd van de maan ook zoveel groter dan een dag.

48. Het verdient nog opmerking, dat, hoewel Kepler altijd spreekt van de kracht waarmee de aarde een lichaam aantrekt (de toevoeging van het adjectief magnetisch heeft natuurlijk geen enkele betekenis en dient alleen om er een schijn van bekendheid aan te geven) hij toch wel een wederzijdse attractie op het oog heeft. De aarde en een steen daarbuiten ondergaan beide den invloed van de natuurkracht die er naar streeft, ze te verenigen. Vertoont zijn denkbeeld in zoverre dus verwantschap met de latere gravitatietheorie van Newton, zo wijkt het er principieel van af, doordat de krachten die de lichamen ondervinden, niet onderling gelijk worden gedacht. Zij verhouden zich als de *moles* der lichamen, welk woord hier hoeveelheid materie schijnt te betekenen en dus het best door massa zou kunnen worden weergegeven. Wanneer de twee lichamen de gelegenheid krijgen, zich te bewegen, verenigen zij zich in een punt, dat het verbindingslijnstuk van hun centra verdeelt in stukken, die zich om-

gekeerd verhouden als de massa's. Het is niet moeilijk in te zien, welke dynamische gedachtengang tot deze bewering kan hebben geleid: de toegevoegde opmerking, dat de verhouding dezelfde is als bij een balans, wekt het vermoeden, dat zij slechts op deze analogie steunt.

49. Intussen is door deze uitweiding de kinematische behandeling van de Marsbeweging onderbroken. Haar hervattend blijft Kepler voorlopig werken met de onjuist bevonden hypothese van IV: 31 (thans *hypothesis vicaria* (plaatsvervangende hypothese genaamd), omdat deze althans benaderde Mars-posities oplevert. Hij stelt hiervoor nu het fundamentele probleem aan de orde dat iedere planetentheorie, wil zij ooit tot samenstelling van tafels komen, noodzakelijk zal moeten kunnen oplossen, nl. de berekening van de positie van een planeet op een gegeven tijdstip. Om deze te kunnen geven, moet hij (Fig. 19) het verband kennen tussen den boog *QP* die sedert het passeren van het aphelium *Q* doorlopen is en den daaraan besteden tijd.

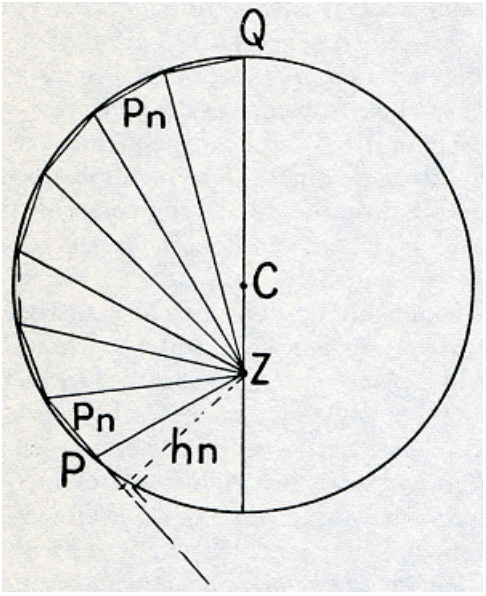


Fig. 19. De planeet *P* doorloopt een cirkel om *C* als middelpunt zo, dat de lineaire snelheid, omgekeerd evenredig is met den afstand tot *Z*. Kan men nu de oppervlakte van het perk *QZP* als een maat beschouwen voor den tijd die verstreken is sedert den doorgang van de planeet door het aphelium *Q*?

50. Dat was een vraagstuk dat de krachten van Kepler en van alle andere wiskundigen van een tijd die nog geen analytische meetkunde en geen infinitesimaalrekening kende, verre te boven ging en hij kan dan ook niet meer doen dan het formuleren en de mathematici aansporen, de oplossing ervan te zoeken. Het ligt echter niet in zijn aard, zich door dergelijke moeilijkheden te laten ophouden en waar de exacte oplossing niet mogelijk is, zoekt hij een benaderde. Hij overweegt dat, daar de snelheid in een punt *P* van de baan volgens de stralenwet omgekeerd evenredig is met den voerstraal *ZP*, de tijd die aan een baanelement besteed wordt, er recht evenredig mee moet zijn en dus bij geschikte keuze van eenheden door dien voerstraal kan worden voorgesteld en hij vraagt zich nu af, of niet de totale tijd die voor het doorlopen van den boog *QP* nodig is, zou kunnen worden aangegeven door de oppervlakte van het perk *QZP*, beschouwd als de som van al zijn voerstralen. Hij beroept zich daartoe op Archimedes, die een cirkelsector als som van al zijn stralen zou hebben opgevat, maar hij is een

veel te goed wiskundige om niet te beseffen, dat dit beroep niet opgaat, omdat de cirkelstralen *CA* in Fig. 20 wèl, maar de voerstralen *ZP* in Fig. 19 niet loodrecht op den cirkelomtrek staan. Inderdaad: beschrijft men in bg *QP* van Fig. 20 een regelmatig gebroken lijnstuk met *n*-zijden p_n en een apothema r_n, dan is de oppervlakte van sector *QCP* de limiet van de som van de oppervlakten der driehoeken, die *C* tot top en de lijnstukken p_n tot basis hebben, dus van $\frac{1}{2}\, n\, .\, p_n r_n$, als *n* tot oneindig nadert. Voor die som kan men schrijven $\frac{1}{2}\, p_n \Sigma\, r_n$ en nu de zegswijze, dat de sector de som van al zijn stralen is, opvatten als een onstrenge uitdrukking voor het feit, dat r_n nadert tot den straal van den cirkel; immers $\Sigma\, r_n$ kan als benadering van de som van een groot aantal

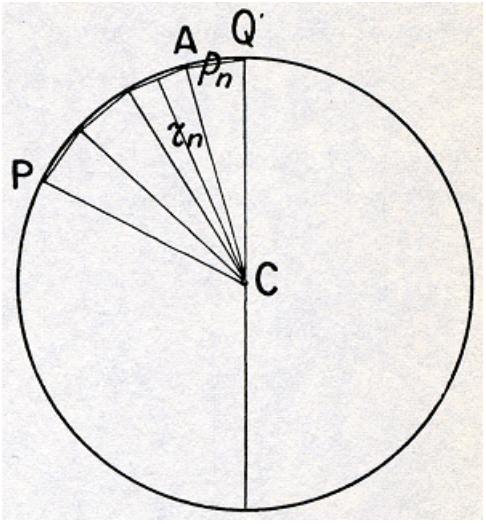


Fig. 20. In welken zin men in tegenstelling tot Fig. 19 de oppervlakte van den cirkelsector *QCP* als de som van al zijn stralen *CA* beschouwen kan.

stralen worden beschouwd. In Fig. 19 kan men ook de oppervlakte van het perk *QZP* wel beschouwen als de limiet van de som van de oppervlakten van driehoeken met top *Z* en basis p_n, maar deze driehoeken zijn niet gelijkbenig. Zijn hun hoogten h_i ($i = 1 \ldots n$), dan wordt de som $\frac{1}{2}\, p_n \Sigma\, h_i$, maar nu nadert h_i niet tot een van de zijden van den driehoek, maar tot den afstand van *Z* tot een raaklijn van den cirkel, zodat $\Sigma\, h_i$ nooit als benaderde som van voerstralen kan worden gelezen.

51. Maar nu volgt een typisch Keplerachtige stap: het is wiskundig weliswaar onhoudbaar, maar we zullen toch maar bij wijze van benadering de oppervlakte van het perk *QZP* als een maat beschouwen voor den tijd, waarin de voerstraal uit *Z* het perk doorlopen heeft. Hiermee heeft Kepler de wet verkregen die men tegenwoordig zijn tweede pleegt te noemen, omdat zij beschouwd wordt als aanvulling van de eerste, die zegt, dat de planeet een ellips doorloopt met de zon in een der brandpunten. Zij is echter eerder ontdekt en wel voor een cirkelbeweging met verdeelde excentriciteit als een benadering voor een exacte berekening op grond van de stralenwet. Kepler komt op haar afleiding niet meer terug en neemt haar onveranderd over, wanneer hij later tot de conclusie komt, dat de ware baanvorm die van een ellips is.

Intussen is nu de uitdrukking voor den tijd *t*, waarin de planeet bg *QP* doorloopt, heel eenvoudig geworden. Immers (Fig. 21):

opp. perk *QZP* = opp. sector *QCP* + opp. Δ *CZP*.

Is nu *CP* = 1, *CZ* = *e*, ∠ *PCQ* = β (genaamd excentrische anomalie), dan blijkt:

opp. perk *QZP* = ½ β + ½ *e* sin β.

Wordt de gehele baan in den tijd *T* doorlopen, dan geldt dus:

$$\frac{t}{T} = \frac{\frac{1}{2}(\beta + e \sin \beta)}{\pi}$$ of $$\beta + e \sin \beta = 2\pi \frac{t}{T}.$$

Stellen wij nu β + *e* sin β = α, dan is hiermee een rekengrootheid ingevoerd, genaamd middelbare anomalie, die evenredig met den tijd verandert en die de benadering voorstelt van ∠ *QVM* in de hypothesis vicaria (Fig. 16).

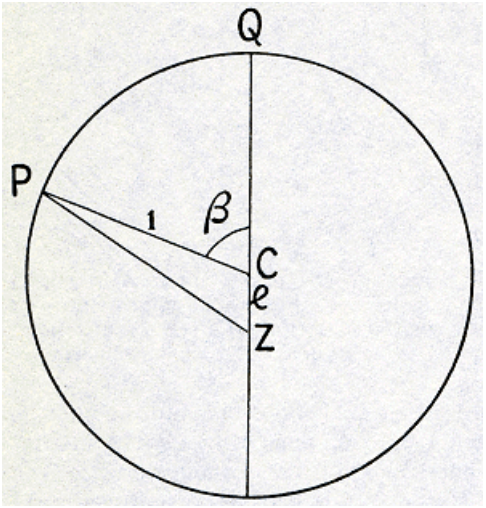


Fig. 21. Afleiding van de betrekking tussen den boog *QP*, dien de planeet *P* sedert den doorgang door het aphelium *Q* heeft doorlopen en den daaraan besteden tijd. Deze tijd wordt voorgesteld door de oppervlakte van het perk *QZP*. ∠*QZP* = *v*. *PZ* = ρ

De astronomie verlangt echter niet zozeer bij een gegeven positie van de planeet het tijdstip te berekenen waarop zij haar bereikt, als wel omgekeerd, voor een gegeven waarde van den tijd de waarde van β te vinden die de plaats bepaalt.

Nu volgt uit *t* de middelbare anomalie $\alpha = 2\pi \frac{t}{T}$. Men moet nu β vinden uit de vergelijking:

β + *e* sin β = α

die in de wiskunde den naam van vergelijking van Kepler heeft gekregen. De oplossing van deze transcendente vergelijking levert moeilijkheden op, die de vermogens van de 16e-eeuwse wiskunde verre te boven gaan. Denkt men echter een benaderde waarde voor β gevonden, dan wordt de positie van de planeet bepaald door de formules:

$$\rho = \sqrt{1 + e^2 + 2e \cos \beta}$$ en ρ cos *v* = *e* + cos β

waarvan de eerste den afstand tot *Z* leert kennen en de tweede den hoek *v* (ware anomalie), die uitdrukt, hoever *Z P* van het aphelium *Q* af ziet en die, daar de heliocentrische lengte van het aphelium bekend is, dus ook de heliocentrische lengte van de planeet bepaalt.

52. Wij zagen boven reeds, dat Kepler de eerste was, die openlijk durfde afwijken van dat deel van het Platonisch axioma, waarin van alle bewegingen van hemellichamen eenparigheid wordt geëist. Aan het andere, dat slechts cirkelvormige banen toelaat, heeft ook hij tot dusver nog niet getornd. Bij de voortzetting van zijn berekeningen ziet hij zich daartoe echter ook gedwongen. Hij had namelijk bij de toepassing van de boven vermelde methode ter bepaling van de afstanden Aarde-Zon tegelijk een aantal afstanden Mars-Zon kunnen bepalen, terwijl de hypothesis vicaria hem met voldoende nauwkeurigheid de bijbehorende heliocentrische posities van de planeet leerde kennen. Nu kan men uit drie dergelijke waardenparen de ligging van het aphelium en de excentriciteit van de cirkelvormig onderstelde Marsbaan vinden. Als steeds wantrouwend tegen zijn eigen resultaten voert Kepler die berekening voor verschillende drietallen uit en vindt telkens andere uitkomsten. Hieruit trekt hij nu de conclusie, dat de Marsbaan geen cirkel kan zijn, waardoor hij het Platonisch axioma in zijn vollen omvang verwerpt. De astronomie werd hiermee ontdaan van een leidraad die, na lang een heilzame steun te zijn geweest, langzamerhand in een knellenden band was ontaard. Voorlopig bleef ze er echter wel enigszins stuurloos door achter.

53. Kepler stelt nu eerst op grond van lange berekeningen vast, in welken zin de baan van een cirkel afwijkt. Het blijkt, dat de verschillen in de afstanden die uit waarnemingen berekend zijn en die uit de tot dusver aanvaarde hypothese volgen, des te groter zijn, naarmate de planeet verder van de absiden afligt en wel zo, dat de baan zijdelings ingedeukt is en dus den vorm van een ovaal heeft.

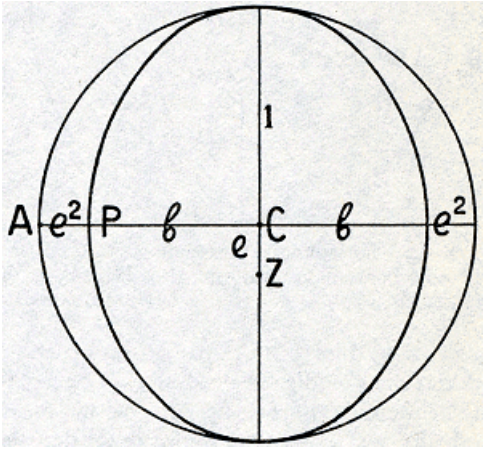


Fig. 22. Benadering van den ovalen vorm van de Marsbaan door een ellips, die het lijnstuk perihelium-aphelium tot grote as (2*a*) heeft. Voor $a = 1$ is de kleine as (2*b*) bepaald door $b = 1 - e^2$, waarin $e^2 = 0{,}00858$.

Op dit punt grijpt de dynamische beschouwingswijze weer in. Kepler tracht een physische oorzaak te vinden van het tot dusver onverklaard gebleven feit, dat de planeet, aangegrepen door de van de zon uitstralende en met haar ronddraaiende species niet eenvoudig met constante snelheid een cirkel om de zon doorloopt. Hij vindt deze in een eigen inwendig bewegend vermogen van de planeet, waardoor zij een epicykel beschrijft om een punt dat niet eenparig om

de zon draait. De resulterende baan blijkt nu inderdaad een ovalen vorm te hebben. Door nu opnieuw op zeer vrijmoedige wijze deze voorstelling te combineren met de hypothesis vicaria komt Kepler tot een meetkundige constructie van deze ovaal, maar ondervindt onoverkomelijke moeilijkheden, als hij hierop nu de perkenwet, die oppervlakteberekeningen vereist, wil toepassen. Hij vervangt haar nu bij benadering door een ellips (Fig. 22), waarvan de grote as samenvalt met het lijnstuk perihelium-aphelium, terwijl de kleine as de breedte van de ovaal in het midden aangeeft. Heeft de halve lange as *a* de waarde 1, dan blijkt de halve korte as $b = 1 - e^2$ te zijn. De grootste breedte van het maantje tussen de ellips en den cirkel, die de lange as tot diameter heeft, is dus $e^2 = 0{,}00858$.

54. Weer niet gerust op de uitkomst controleert hij haar door negentien afstanden Mars-Zon te berekenen in posities die zo regelmatig mogelijk over de baan verspreid liggen. Bij vergelijking met de elliptische benadering van de ovaal blijkt echter, dat ze er slechts bij zouden passen, wanneer de breedte van het maantje 0,00429 was.

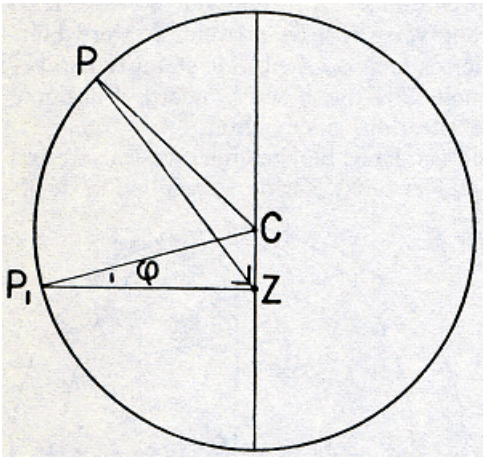


Fig. 23. De optische vereffening (∠ *CPZ*) bereikt haar maximum wanneer *P* in P_1 is ($P_1Z \perp CZ$). φ = 5° 18′. secφ = 1,00429.

Op dit punt kwam hem een toeval te hulp, zoals alleen aan iemand die zich geheel in een probleem heeft vastgebeten, te beurt valt. Bij de berekening van Marsposities volgens de hypothesis vicaria had hij nog al eens te maken met de maximale waarde van de z.g. optische vereffening, d.i. de hoek tussen de richtingen *CP* en *ZP* (Fig. 23). Deze bereikt haar |maximum φ in den stand P_1 van de planeet, waarin $ZP_1 \perp CZ$ en bedraagt dan voor Mars 5° 18′. Nu had hij op een zeker ogenblik den secans van dezen hoek nodig en deze bleek 1,00429 te bedragen, dus een mantisse te hebben, die juist de breedte van het maantje aangaf. ‘Toen ik dit zag,’ schrijft hij[27], ‘was het mij of ik uit den slaap gewekt werd en een nieuw licht zag en ik ben als volgt gaan redeneren:’

In de gecorrigeerde ovaal (Fig. 22) moet $CA/CP = 1{,}00429$ zijn* en dit blijkt sec φ te zijn; dus is $CP = CA$. cos φ. Denk deze betrekking nu geldig (Fig. 24) tussen de afstanden van *Z* tot alle punten P_c van de

* Kepler past hier de benadering 1/1-δ = 1 + δ toe.

werkelijke baan en tot de op ZP_c liggende punten P van den cirkel met dien verstande, dat φ voor iedere richting de optische vereffening aangeeft, dan vindt men als afstandsformule:

$$\rho = ZP_c = ZP \cos \varphi = PM = = 1 + e. \cos \beta.$$

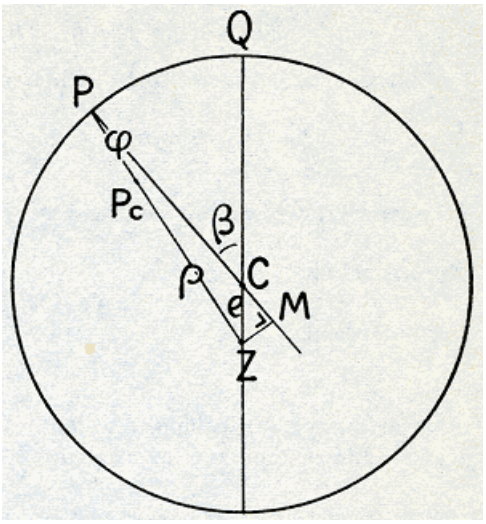


Fig. 24. Verbetering van de benadering van Fig. 22. $ZP_c = ZP \cos \varphi$.

Het bleek nu bij narekenen, dat de berekende afstanden hiermee heel goed klopten, zodat er nu dus zekerheid bestond over de twee betrekkingen:

$$\rho = 1 + e \cos \beta \quad (1)$$
$$\alpha = \beta + e \sin \beta \quad (2)$$

Na nu voor de bepaling van den waren baanvorm nog allerlei tijdrovende dwaalwegen te hebben ingeslagen, waarop we hem niet zullen volgen, komt Kepler op het achteraf voor de hand liggende denkbeeld, de ovaal niet te benaderen door een ellips met $b = 1 - e^2$, die een tweemaal te breed maantje gaf, maar door een ellips met $b = 1 - ½ e^2$. Dat bleek met de waargenomen posities goed te kloppen.

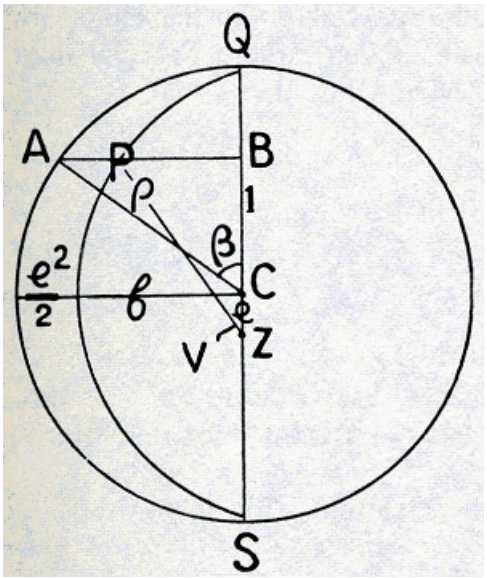


Fig. 25. Definitieve voorstelling van de Marsbaan door een ellips, waarvan voor $a = 1$, $b = 1 - e^2/2$ ($e^2 = 0{,}00858$). Men trekke nog de lijn ZA.

Echter bleef het verband tussen deze hypothese over den baanvorm en de afstandsformule (1) nog duister. Kepler vertelt, dat hij hierover heeft nagedacht *pene usque ad insaniam*[28] (om er bijna gek van te worden), totdat hem op eens de schellen van de ogen vielen en hij inzag, dat de formule (1) juist bij deze ellips paste. Wij zullen de moeizame redenering, waardoor hij dit bewijst, als volgt vereenvoudigd weergeven (Fig. 25).

Denk de ellips verkregen door alle ordinaten loodrecht *QS* in de verhouding b ($= 1 - \frac{1}{2} e^2$) te verkleinen en de excentrische anomalie β geinterpreteerd als ∠ *QCA*, dan blijkt uit de figuur:

$ZB = \rho \cos v = ZC + CB = e + \cos \beta$
$PB = \rho \sin v = b \,.\, AB = b \sin \beta$

waaruit door quadrateren en optellen volgt:

$$\rho^2 = e^2 + 2\, e \cos \beta + \cos^2 \beta + \left(1 - \frac{e^2}{2}\right)^2 \sin^2 \beta.$$

Verwaarlozen we nu bij het quadrateren van $\left(1 - \frac{e^2}{2}\right)$ de vierde macht van e, dan vinden we:

$$\rho^2 = (1 + e \cos \beta)^2,$$

dus inderdaad:

$$\rho = 1 + e \cos \beta.$$

Het is nu nog van belang te weten, waar de brandpunten van de ellips liggen. Hun afstand tot het centrum wordt bepaald door:

$$c^2 = 1 - b^2 = 1 - \left(1 - \frac{e^2}{2}\right)^2 = e^2$$

als we weer de vierde macht van e verwaarlozen. Dus is $c = e$, d.w.z. een der brandpunten valt in de zon.

55. Ten slotte moet nog worden nagegaan, hoe het nu met de perkenwet staat. We berekenen hiertoe (Fig. 25) de oppervlakte van het ellipsperk ZQP door het te beschouwen als ontstaan uit het cirkelperk ZQA door ordinaatverkorting in de verhouding b. Men vindt dan

Opp. $ZQP = b$. opp. $ZQA = b$ (opp. $\Delta\, ZCA$ + opp. sector QCA) = b (½ e sin β + ½ β) = ½ $b\, a$.

Dus geldt:

$$\frac{\text{opp. perk } ZQP}{\text{opp. ellips}} = \frac{\frac{1}{2} b\, \alpha}{\pi b} = \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{t}{T}$$

wanneer t de tijd is, waarin de planeet van Q naar P komt en T de omloopstijd. Het blijkt dus, dat het perk weer een maat voor den tijd is, dus dat de perkenwet geldt.

De gehele theorie is ten slotte samen te vatten in de formules:

$\alpha = \beta + e \sin \beta$ waarin $\alpha = 2\pi \frac{t}{T}$. (1)
$\rho = 1 + e \cos \beta$ (2)
$\rho \cos v = e + \cos \beta$. (3)

Voor een gegeven tijdstip t kent men α. De vergelijking (1) moet dan β leveren. Met behulp van (β) berekent men uit (2) den afstand tot de zon

en daarna uit (3) de ware anomalie, waaruit de heliocentrische positie volgt. In woorden laat zich het verkregen resultaat uitdrukken in de eerste twee wetten van Kepler:

I. Een planeet beschrijft een ellips. In een van de brandpunten van deze ellips staat de zon.
II. De voerstraal zon-planeet doorloopt in gelijke tijden gelijke perken.

In deze wetten is de gehele kinematica van de planetenbeweging samengevat.

56. Dit boek is ongetwijfeld geen handboek voor de geschiedenis der theoretische astronomie. Wij hebben er echter prijs op gesteld, den lezer althans een indruk te geven (meer dan een indruk is het niet) van de wijze, waarop Kepler zijn wetten heeft gevonden, omdat we hier als het ware de deur die de zaal der antieke en middeleeuwse natuurwetenschap van die der klassieke scheidt, op haar hengsels zien draaien en we met den man die haar opende in de nieuw ontsloten denkruimte kunnen binnentreden.

Wat is het nieuwe, dat we er opmerken? Niet in de eerste plaats resultaten die sterk van het oude afwijken, maar voor alles een methode die dat heel duidelijk doet. Haar voornaamste kenmerken zijn:

1) Verwerping van alle argumenten die slechts op traditie en autoriteit gebaseerd zijn.
2) Zelfstandigheid van het natuurwetenschappelijk onderzoek ten aanzien van alle philosophische en theologische leerstellingen.
3) Doorlopende toepassing van de mathematische denkwijze in het opstellen en uitwerken van hypothesen.
4) Onverbiddelijke toetsing van de hieruit afgeleide resultaten aan een tot den hoogst bereikbaren graad van nauwkeurigheid opgevoerde empirie.

Wij merken hier nog bij op, dat de in 2) genoemde zelfstandigheid van de natuurwetenschap ten aanzien van philosophie en theologie als wetenschappen beschouwd natuurlijk niet insluit, dat het denken onafhankelijk zou zijn geworden van metaphysische of godsdienstige overtuigingen, maar alleen, dat deze in de wetenschapsbeoefening als zodanig geen functie meer mogen vervullen. Dat er van onafhankelijkheid geen sprake is, kan niemand ons beter leren dan Kepler, die voortdurend zowel in de voorstellingen van de Christelijke geloofsleer als in de denkbeelden van de Pythagoraeïsche getallenmystiek inspiratie voor zijn wetenschappelijk werk zoekt en vindt.

57. De ontdekkingsgeschiedenis van Kepler's eerste twee wetten heeft behalve haar historische betekenis ook een psychologische, omdat zij zo duidelijk de wonderlijke mengeling van rationele en irrationele momenten toont, waaruit grote wetenschappelijke vondsten in den regel voortkomen. Het ging, zoals in onze korte schets al reeds voldoende duidelijk geworden zal zijn, waarlijk niet steeds volgens de regelen der logische kunst in zijn werk. Er werden heel wat sprongen gemaakt die redelijk niet te verant-

woorden waren, de wiskunde bleek inderdaad wel heel vaak giskunde te zijn en de phantasie scheen het soms geheel van het wetenschappelijk denken te winnen. Maar ten slotte had de koele redelijke kritiek toch het laatste woord en het uiteindelijk resultaat is als een voltooid bouwwerk, waarin niets meer herinnert aan de onordelijkheid die er nog een paar dagen geleden in viel aan te treffen.

Of misschien toch iets. Kepler is na de formulering van de perkenwet toch altijd overtuigd gebleven van de geldigheid van de stralenwet (waarvan hij immers een dynamische afleiding meende te bezitten en die hij daardoor in haar wezen meende te begrijpen) en hij heeft de eerste altijd slechts beschouwd en gebruikt als een benadering van de tweede. In werkelijkheid is de relatie juist andersom. De perkenwet is te formuleren als omgekeerde evenredigheid tussen de lineaire snelheid en den afstand van de Zon tot de raaklijn waarlangs de snelheid gericht is; bij kleine waarden van de excentriciteit, zoals alle planetenbanen die bezitten, verschilt de doorlopen ellips echter weinig van den cirkel en haar brandpunt valt bijna met het centrum samen, zodat de voerstraal van de Zon naar een punt van de kromme als benadering kan gelden voor haar afstand tot de raaklijn in dat punt.

58. De eerste twee wetten, die door generalisering al spoedig voor iedere planeet geldig werden verklaard, leren alleen iets over de beweging van elke planeet afzonderlijk. Tien jaar na hun publicatie heeft Kepler ze aangevuld met een derde wet, die verband legt tussen den omloopstijd van een planeet en de halve grote as van haar baan en die dus pas het systeem leert kennen dat het planetenstelsel als geheel beheerst. Zij spreekt uit, dat er voor alle planeten een constante verhouding bestaat tussen de tweede macht van den omloopstijd en de derde macht van de halve grote as en ze geeft dus tot op zekere hoogte een antwoord op de vraag naar het verband tussen de afstanden van de verschillende planeten tot de zon, die Kepler in 1597 in het *Mysterium Cosmographicum* gesteld had en opgelost meende te hebben.

De derde wet komt voor in het in 1619 verschenen werk *Harmonice Mundi*, maar zij heeft eigenlijk met den inhoud van dit werk weinig te maken en ze is ook pas ontdekt, toen het al voltooid was[29]. Zij komt voor in een overzicht over de planetentheorie, dat als inleiding dient voor de definitieve beschouwingen over den samenhang tussen de bewegingen der planeten en het systeem der muzikale harmonieën; ze wordt hierin zonder een poging tot nadere verklaring eenvoudig op grond van door Tycho verrichte metingen als een empirisch feit vastgesteld; op de dan volgende beschouwingen heeft ze geen invloed, omdat daarin wel de waarden van de omloopstijden en de halve grote assen voor de verschillende planeten voorkomen, maar niet de betrekking tussen deze grootheden, die de wet uitdrukt.

59. Voor de astronomie was de ontdekking van de derde wet een feit

van grote historische betekenis en voor Kepler's leven was ze van uitzonderlijk belang, omdat ze de definitieve bevestiging bracht van zijn vermoeden, dat er een mathematisch uitdrukbare structuur van het planetenstelsel moest bestaan. Reeds in het *Mysterium Cosmographicum* had hij zich bezig gehouden met de vraag naar het verband tussen omloopstijd en afstand tot de zon en in de bijna twintig jaren die sindsdien verstreken waren, had de vraag hem nooit losgelaten. Evenals dat bij vorige gelegenheden het geval was geweest, bracht het nieuwe inzicht hem ook nu in een toestand van extase. Hij spreekt van heilige razernij en van een onzegbare verrukking over de aanschouwing der hemelse harmonieën[30]. In een later werk, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, heeft hij nog moeite gedaan, een physischen grondslag voor de derde wet te vinden, maar zonder succes[31].

De opzet van dit boek geeft ons geen aanleiding over het werk *Harmonice Mundi* zelf te spreken. Het is in zijn lange en phantastische beschouwingen over de mathematische harmonieën die door de bewegingen der planeten worden geconstitueerd, uiterst belangwekkend voor de kennis van Kepler's veelzijdige en nooit geheel te doorgronden persoonlijkheid en bezit ook grote waarde voor de ontwikkelingsgeschiedenis der Pythagoraeïsche wereldbeschouwing, maar het heeft op het aspect der klassieke natuurwetenschap dat het onderwerp van dit boek vormt, geen merkbaren invloed uitgeoefend. Hetzelfde geldt voor Kepler's astrologische theorieën.

Eindnoten:

1 Armitage (1) (2), Copernicus (1) (2) (3), Dreyer (2), Prowe, Zinner (2).
2 Rheticus (Prowe II 317). Verg. Copernicus (3) 143, 147, (1) IV, c. 2.
3 Goethe op 19 Februari 1829 tot Eckermann.
4 Copernicus (1) I, c. 10 (2) 27. (3) 112.
5 Bertrand 26, 35.
6 Copernicus spreekt dit vertrouwen uitdrukkelijk uit in een brief aan Wapowski. Prowe II 177.
7 Rheticus (Prowe II 391).
8 Dijksterhuis (6) 158.
9 Zo Koyré in Copernicus (3) 13.
10 Kepler in *Apologia Tychonis contra Ursum*. (1) I 236-276.
11 Kepler in *Astronomia Nova* c. 33. (2) III 237. (3) 222.
12 Russell 21.
13 Natorp.
14 Kant, *Kritik der Reinen Vernunft*, Vorwort zur zweiten Auflage.
15 Rheticus in *Encomium Borussiae*. Prowe II 373.
16 Dreyer (1), Gade, Zinner (2).
17 Tycho Brahe (2).
18 Tycho Brahe, *Epistolarum astronomicarum Liber*. (1) VI 218 vlg.
19 Tycho Brahe, *Astronomiae instauratae Mechanica*. (1) V 3, 162.
20 Caspar in Kepler (2) (3) (4).
21 Gassend, geciteerd Kepler (3) 401.
22 Kepler (4) 126.
23 Kepler (4) 129.
24 Kepler (1) II 84.
25 Kepler (1) I 2. (3) 401.
26 Kepler, *Harmonice Mundi* IV, c. 4. (2) VI 237.
27 Kepler, *Astronomia nova* c. 56. (2) III 346. (3) 325.
28 Kepler, *Astronomia nova* c. 58. (2) III 366. (3) 345.
29 Kepler, *Harmonice Mundi* V, c. 3. (2) VI 302.

30 Kepler, *Harmonice Mundi* V. (2) VI 290. VI 480. verg. VI 16.
31 Kepler, *Epitome Astronomiae Copernicanae* IV, Pars II, c. 4. (1) VI 350.

II. De mechanica van Stevin tot Huygens

A. Simon Stevin[1]

60. Wat ook het begrip mechanisering van het wereldbeeld moge inhouden, het staat in ieder geval met den tak der natuurwetenschap die mechanica heet, in een nauw verband, dat we te zijner tijd nader zullen trachten te bepalen. We zullen daarom nu eerst een tijdlang de ontwikkeling van dit vak vervolgen.

We noemden reeds als een der drempeljaren van den nieuwen tijd op dit gebied het jaar 1586, waarin Stevins werk *Beghinselen der Weeghconst* verscheen. Voor weeghconst, d.i. statica, verdient het dien naam inderdaad. Stevins werk is namelijk het eerste, waarin de theoretische behandeling die zij in de Oudheid bij Archimedes had genoten, niet alleen wordt weergegeven, maar ook op gelijkwaardige wijze wordt voortgezet. Leonardo zou dit vóór hem misschien reeds hebben kunnen doen, als hij er maar eens ooit toegekomen was, zijn fragmentarische gedachten te ordenen en tot een logisch samenhangend geheel uit te werken; in feite heeft hij het vak echter niet noemenswaard vooruitgebracht. En de Italiaanse wiskundigen Commandino en Maurolyco hadden weliswaar volgens de Archimedische methoden nieuwe zwaartepuntsbepalingen uitgevoerd, maar daarvan had de wiskunde meer geprofiteerd dan de mechanica, die er zich geen nieuwe wegen door geopend had gezien.

61. Om te kunnen beoordelen, in hoeverre Stevin dat wel doet, moet men in het oog houden, dat onder statica in de zestiende eeuw nog evenmin als in de Oudheid de algemene theorie van het evenwicht van op een vast lichaam werkende krachten mag worden verstaan, waaraan wij tegenwoordig, het woord gebruikend, denken. Het gaat slechts om bijzondere onderwerpen, die later als speciale gevallen in ruimer verband behandeld zouden worden. Bij Archimedes zijn het de leer van het zwaartepunt en die van den hefboom en voor de Oudheid in het algemeen kan men daaraan de quasi-statische theorie van de enkelvoudige werktuigen toevoegen. Over de theoretische fundering van het eerste onderwerp blijven we bij Archimedes, die blijkbaar oudere werken bekend onderstelt, vrijwel in het duister tasten; die van het tweede wordt in het werk *Over Evenwichten van Vlakke Figuren* met Euc'idische exactheid gegeven. Stevin, die als het ware onmiddellijk bij hem aansluit, laat ons over de grondslagen van de zwaartepuntstheorie in dezelfde onzekerheid en geeft inzake hefboom-evenwicht niets dat wezenlijk nieuw is; zijn behandeling is doorzichtiger en eenvoudiger dan die van Archimedes, maar staat uit een oogpunt van axiomatischen opbouw aan dezelfde kritiek bloot als men tegen het Griekse voorbeeld heeft gericht.

62. Met wat hij aan Archimedes ontleent, kan Stevin het algemene vraagstuk van het evenwicht van een vast lichaam onder invloed van

uitsluitend verticaal gerichte krachten behandelen. Om echter ook de werking van krachten die langs willekeurige werklijnen gericht zijn, na te kunnen gaan, moet hij zijn eigen weg vinden. Hij slaagt daar al dadelijk in door een vernuftige afleiding van de wet van het hellend vlak, die als het Clootcrans-bewijs bekend staat.

De stelling zelf was niet nieuw meer; we hebben boven (III: 34) reeds gezien, hoe zij in de school van Jordanus Nemorarius met behulp van het principe der virtuele verplaatsingen bewezen was. Stevin heeft tegen deze bewijsmethode echter principiële bezwaren; hij vindt het ongerijmd, een evenwichtsvoorwaarde af te leiden door omstandigheden te beschouwen (namelijk de gelijktijdige verplaatsingen van de aangrijpingspunten van macht en last) die juist niet optreden zolang het evenwicht bestaat. Hij zegt dit voor het geval van den hefboom in een syllogisme:

Dat stil hangt en beschrijft gheen rondt;
Twee evestaltwichtighe hanghen stil;
Twee evestaltwichtighe dan en beschrijven gheen rondt.

We leren hieruit tevens al iets van zijn oorspronkelijke en merkwaardige taalkundige uitdrukkingswijze kennen. Om sociale redenen, namelijk om iedereen, ongeacht zijn vooropleiding, in staat te stellen, wetenschappelijke redeneringen te volgen en daardoor van alle beschikbare vermogens voor de beoefening der wetenschap partij te kunnen trekken, schrijft hij, nadat hij in 1585 nog een werk over rekenkunde in het Frans had laten verschijnen, alleen nog maar in de landstaal, waarbij hij een groot talent aan den dag legt in het vinden van tekenende uitdrukkingen voor technisch-wetenschappelijke termen. *Evestaltwichtig* is er een voorbeeld van; het woord duidt aan, dat twee lichamen elkaar door bemiddeling van een werktuig in evenwicht houden, hoewel ze niet evenzwaar, dus, naar de letterlijke betekenis van het woord, niet *evenwichtig* zijn: *sij hebben een ghelaet van evenwichticheyt, maer ten is niet eyghen, dan alleenlick na de ghestalt*. De term evenstaltwichtig is tot nadeel van den rijkdom van onze taal in onbruik geraakt; wij spreken van lichamen die elkaar in evenwicht houden.

63. Waar Stevin zo nadrukkelijk het principe der virtuele verplaatsingen verwerpt, is het verwonderlijk, dat men het in werken over de geschiedenis der natuurwetenschap zo vaak met zijn naam in verbinding brengt; het wordt wel niet steeds als een vondst van hem voorgesteld, maar hij heet dan toch de eerste, die het zou hebben uitgesproken. Blijkbaar wordt dit telkens overgeschreven van anderen, die de *Weeghconst* ook nooit gelezen hebben. Het verhaal vindt zijn ontstaan waarschijnlijk in het feit, dat hij zich in den *Byvough*, die in de *Wisconstighe Ghedachtenissen* op de *Weeghconst* volgt en die in de Latijnse en Franse vertalingen van dit grotere werk internationale bekendheid heeft gekregen, eenmaal bedient van de *ghemeene weeghconstighe reghel*:

Ghelijck wech des doenders tot wech des lijders
Alsoo ghewelt des lijders tot ghewelt des doenders

die voor de enkelvoudige werktuigen uit het principe der virtuele verplaatsingen volgt. Hij beschouwt den regel hier blijkbaar als een bekend practisch middel om het verband tussen macht en last af te leiden, waarmee echter niet gezegd is, dat hij de verantwoordelijkheid voor de theoretische fundering zou willen dragen.

64. In het Clootcrans-bewijs voor de wet op het hellend vlak, waartoe we na deze uitweiding terugkeren, beschouwt Stevin (Fig. 26) een verticaal geplaatsten driehoek

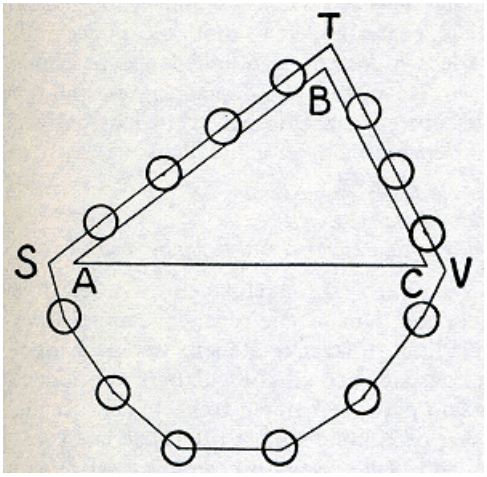


Fig. 26. Het Clootcrans-bewijs voor de wet van het hellend vlak volgens Stevin, *Beghinselen der Weeghconst*, Voorstel 19.

ABC, waarover hij nu in gedachten een snoer hangt, waaraan op onderling gelijke afstanden gelijke bollen geregen zijn. Aangenomen wordt, dat dit snoer over drie vaste punten *S, T, V*, opv. bij *A, B* en *C*, glijden kan. Het doel is nu eerst, te bewijzen, dat het stuk snoer op *AB* evenstaltwichtig is met dat op *BC*. Daartoe wordt ondersteld, dat bij voorbeeld het *staltwicht* van het eerste groter is. Het snoer komt dan in beweging, maar daar de positie die het als geheel inneemt, niet verandert, als elk bolletje de plaats van zijn voorganger inneemt, zou het in beweging moeten blijven. Er zou dus een *eeuwich roersel* (eeuwigdurende beweging) moeten ontstaan. Stevin acht dat *valsch* (ongerijmd) en besluit dus, dat het snoer in rust zal blijven. Die rust zal niet worden verstoord, wanneer men het stuk *VS*, dat aan weerskanten even hard trekt, wegdenkt. Dus zullen de stukken van het snoer op *AB* en *CB* evenstaltwichtig zijn. Verenigt men ze nu elk tot een lichaam en denkt men deze beide lichamen verbonden door een gewichtloos koord dat over het vaste punt bij *B* geslagen is, dan blijkt, dat twee zulke lichamen elkaar in evenwicht houden, wanneer hun gewichten zich verhouden als de lengten van de zijden waarop ze liggen. Hiermee is de verlangde wet gevonden.

65. Het bewijs vertoont in hoge mate het typerende kenmerk van Stevins redeneertrant, die hierin bestaat, dat het betoog geen enkel beroep doet op reeds aanwezig gedachte kennis en dus ook overtuigend werkt op den ongeleerde; dit hangt natuurlijk samen met zijn streven, zo wijd mogelijke kringen der bevolking de gelegenheid tot wetenschappelijke ontwikkeling te verschaffen.

De spil waar de gehele redenering om draait, is blijkbaar het beroep

op de onmogelijkheid van een eeuwig roersel. Dit vormt er tegelijkertijd het meest problematische gedeelte van. Het kan namelijk niet worden gemotiveerd door een verwijzing naar storende factoren als luchtweerstand en wrijving, waarvan de overwinning voortdurend energie kost (om deze moderne formulering maar vast te gebruiken) en die dus een aan zich zelf overgelaten werktuig onvermijdelijk na enigen tijd tot rust moeten brengen. Immers de gehele redenering verloopt in de geïdealiseerde spheer van wat later rationele mechanica zal heten, waarin niet alleen luchtweerstand en wrijving worden weggedacht, maar waarin ook alle koorden als volkomen buigzaam en massaloos worden aangenomen en de kogels van den clootcrans oneindig klein zijn. In deze mechanica bezit echter een eeuwigdurende beweging niets ongerijmds: een enkelvoudige slinger die men loslaat, nadat men het slingerpunt buiten de verticaal van het ophangpunt gebracht heeft, vertoont haar al. Daarom mag Stevin ook maar niet zonder meer een eeuwig roersel als vals verwerpen. Dat hij het doet, betekent echter alleen een leemte in de logische formalisering van zijn bewijs, niet een tekort in zijn intuïtie. Wanneer men den slinger uit zijn evenwichtstand brengt, deelt men er een zekere hoeveelheid potentiële energie aan mede, die na het loslaten in kinetische energie wordt omgezet, die op haar beurt potentieel wordt en zo voort in infinitum. De clootcrans echter bezit in al haar standen dezelfde potentiële energie en als men haar over het hellend vlak legt zonder er in een van de twee

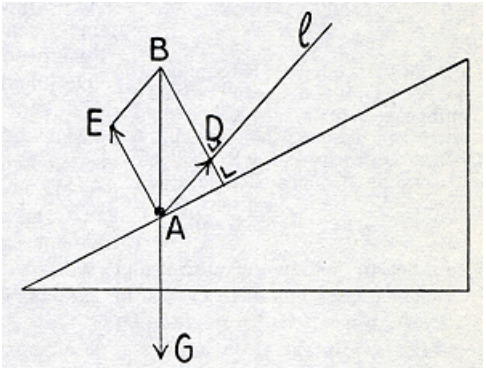


Fig. 27. Driehoek of parallelogram van krachten. Uit Stevin, *Beghinselen der Weeghconst*, Voorstel 19.

mogelijke bewegingsrichtingen een stoot aan gegeven te hebben, is het niet in te zien, hoe zij aan de kinetische energie zou komen die ze, in beweging verkerend, zou moeten bezitten. De natuurwetenschappelijke begripsvorming was in Stevins tijd nog niet ver genoeg gevorderd, dat een dergelijke overweging reeds bewust geformuleerd zou hebben kunnen worden. Stevin bezit echter blijkbaar de intuitie die er aan ten grondslag ligt.

66. Door een redenering die we hier niet zullen weergeven, komt Stevin nu tot de volgende stelling:

Op een glad hellend vlak (Fig. 27) ligt een (verder als stoffelijk punt te beschouwen) lichaam *A* met gewicht *G*. Het verticale lijnstuk *AB* geeft

de grootte van *G* aan. De kracht die langs de willekeurige rechte *l* moet werken om het stoffelijk punt in evenwicht te houden, wordt nu in grootte voorgesteld door het lijnstuk *AD*, waarin *D* het snijpunt is van *l* met de lijn *BC*, door *B* loodrecht op het hellend vlak getrokken.

Voltooit men het parallelogram *ADBE*, dan zegt de verkregen stelling blijkbaar, dat de kracht *G* kan worden opgeheven door de resultante van de kracht *AD* langs *l* en de normale reactiekracht *AE* die het stoffelijk punt van het hellend vlak ondervindt. Stevin blijkt dus het evenwicht van een stoffelijk punt op een glad hellend vlak met behulp van een krachtendriehoek of -parallelogram te kunnen behandelen.

67. Verder gaande bereikt hij het uiterste resultaat van zijn statica in de volgende stelling over het evenwicht van een vast lichaam waarvan een punt *O* onbeweeglijk is. Wordt het lichaam (Fig. 28) in evenwicht gehouden door een verticaal omhoog gerichte kracht *K*, die door het lijnstuk *AB* in grootte en richting wordt voorgesteld, dan kan het inplaats van door deze kracht ook in evenwicht worden gehouden door een kracht K_1 langs de scheef omhoog gerichte lijn *l*, die in grootte en richting wordt voorgesteld door het lijnstuk *AC*, waarin *C* het snijpunt is van *l* met de rechte *BC*, door *B* evenwijdig aan *OA* getrokken.

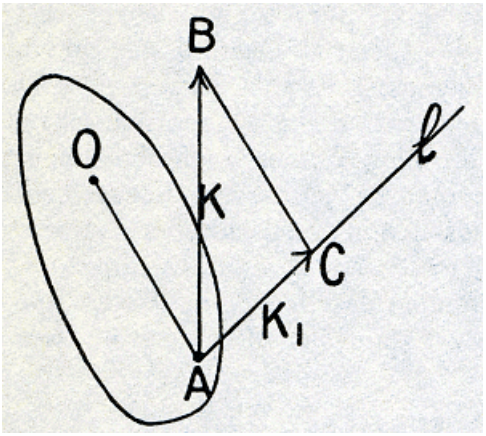


Fig. 28. Als het vaste lichaam met een vast punt *O* door een verticaal omhooggerichte kracht *K* in evenwicht kan worden gehouden, blijft het ook in evenwicht, wanneer, in plaats van *K*, langs de lijn *l* de kracht K_1 werkt, bepaald door *BC* // *OA*.

De juistheid hiervan volgt voor ons dadelijk uit de overweging, dat de driehoeken *OAB* en *OAC* gelijke oppervlakten hebben, zodat de momenten der krachten *K* en K_1 ten opzichte van *O* even groot zijn. Is het eerste moment nu gelijk aan het moment van het in het zwaartepunt aangrijpend gedachte gewicht *G* van het lichaam ten opzichte van *O* (wat het onderstelde vergt) dan is het tweede dit ook, waaruit het gestelde volgt.

Met behulp van deze stelling is de algemene voorwaarde voor evenwicht van een vast lichaam met een onbeweeglijk punt in wezen bepaald.

68. Stevin is tegelijkertijd man van zuivere wetenschap èn practisch ingenieur, spiegelaar zowel als doender, een echte vertegenwoordiger van de klasse der redenerende daadmensen, waarvan we het belang voor de ontwikkeling der natuurwetenschap in het vorige deel (III: 27) reeds in het licht hebben gesteld. Hij beperkt zich dan ook niet tot de behandeling van theoretische ideale gevallen, maar streeft er naar, de hierbij verworven inzichten ook in practische problemen nuttig te gebruiken. Tussen theo-

retische en toegepaste mechanica bestaat echter een grote afstand; de physische werkelijkheid is oneindig veel gecompliceerder dan haar geidealiseerd mathematisch beeld en ze moet in gedachte sterk vereenvoudigd worden, om vatbaar te zijn voor de methoden die de theoretische behandeling heeft doen kennen. Er ligt hier een moeilijkheid die voor de historische ontwikkeling der mechanica van grote betekenis geweest is. Zij verhinderde zowel, dat de mathematisch afgeleide resultaten op eenvoudige wijze empirisch konden worden gecontroleerd als dat de in de practijk opgedane ervaring gemakkelijk aan de theoretische begripsvorming dienstbaar kon worden gemaakt; veeleer bestond, zoals we reeds hebben gezien (I: 37; II: 120; III: 36), het gevaar, dat deze ervaring het theoretisch overleg op een dwaalspoor leidde. Een gevolg hiervan is geweest, dat de mechanica, na van de dwaalwegen die ze onder empirischen invloed eerst bewandeld had, teruggekeerd te zijn, zich eenzijdig theoretisch is gaan ontwikkelen, meer als onderdeel van de wiskunde dan als tak der natuurwetenschap.

Stevin heeft het onderscheid tussen theoretische en toegepaste mechanica zeer zeker wel gevoeld, maar het even zeker in zijn draagwijdte onderschat. Wanneer hij bij een werktuig theoretisch de ideale voorwaarde voor evenstaltwichtigheid van den doender (de macht) en den lijder (de last) bepaald heeft, meent hij, dat de geringste versterking van den doender die denkbaar is, de last nu ook in beweging zal kunnen brengen. Dat neemt niet weg, dat hij door de vele toepassingen die hij van zijn theoretische onderzoekingen gemaakt heeft (in weeg- en hefwerktuigen, den watermolen, het paardentoom en in de krijgswetenschap) zowel de *Weeghconst* als de *Weeghdaet* bevorderd heeft. In het bijzonder kan zijn behandeling van den molen als model gelden van een vruchtbare samenwerking tussen theoretisch inzicht en practisch vakmanschap.

69. Wat Stevin in zijn gedrukte werken van de mechanica behandelt, heeft uitsluitend betrekking op de statica. Tot de zo dringend nodige vernieuwing van de dynamica heeft hij slechts terloops een bijdrage geleverd, die echter niet zonder historische betekenis is. In samenwerking met zijn vriend Johan Cornets de Groot (den vader van Hugo) heeft hij namelijk een proef gedaan ter controle van de in de valwet van Aristoteles opgesloten bewering, dat de tijd dien een uit rust vallend lichaam voor het doorlopen van een zekeren afstand nodig heeft, omgekeerd evenredig is met het gewicht van het lichaam. Zij lieten daartoe twee loden bollen waarvan de ene tienmaal zo zwaar was als de andere, gelijktijdig van een hoogte van 30 voet op een plank vallen en gingen na, of de zwaarste bol inderdaad tien maal zo snel beneden was als de lichtste. Het verschil in tijd bleek onwaarneembaar te zijn; het was of men één slag hoorde. Wij weten niet, in welk jaar de proef genomen is, maar daar ze in de *Weeghconst* beschreven wordt, kan het niet later dan 1586 geweest zijn.

Zoals we reeds weten (III: 55), was het niet de eerste maal, dat op

deze wijze proefondervindelijk werd aangetoond, dat de valwet van Aristoteles in strijd was met de ervaring. Dat het nog eens gebeurde, was echter niet overbodig: de Aristotelische dynamica, hoewel in feite reeds lang onhoudbaar geworden, beheerste het denken van de mechanici en astronomen nog steeds in veel sterkere mate dan zij zelf konden weten en de hedendaagse physicus zich kan voorstellen.

B. Isaac Beeckman[2]

70. De vernieuwing van het natuurwetenschappelijk denken in de zestiende en zeventiende eeuw bestaat voor een belangrijk deel in een hervorming van de dynamica en deze weer in een diepgaande wijziging van de denkbeelden over de twee bewegingsverschijnselen die we dagelijks zonder opzettelijke proefneming om ons heen zien verlopen: val en worp.

De centrale figuur in de geschiedenis van dit onderwerp is Galilei en we zullen dus, om de lijn Stevin-Huygens te kunnen vervolgen, tijdelijk ons land moeten verlaten en terugkeren naar Italië. Maar niet dadelijk. Voordat Galilei zijn resultaten zal publiceren, wordt hier te lande op het stuk van valbeweging nog belangrijk werk verricht, gans anders geaard dan dat van den groten Italiaansen physicus, in vele opzichten er ver bij achter blijvend, maar in enkele andere het zelfs nog overtreffend. Het is te vinden in het befaamde *Journael* van den rector van de Latijnse school te Dordrecht, Isaac Beeckman, waarin hij alle gedachten placht te noteren die lectuur of eigen onderzoek bij hem hadden doen rijzen en waarin tal van notities niet alleen van levendige belangstelling, maar ook van grote begaafdheid op natuurwetenschappelijk gebied blijk geven.

71. Beeckman is in zijn leven ten aanzien van de wetenschap op hetzelfde punt tekort geschoten als Leonardo da Vinci. Beiden heeft het ontbroken aan de nodige volharding en het vereiste concentratievermogen om, zelfs maar op een enkel gebied, hun onderzoekingen te systematiseren, af te ronden, te boek te stellen en te publiceren. Van Faraday's devies: Work, Finish, Publish, hebben zij zich alleen het eerste deel ter harte genomen. Daardoor hebben ze de ontwikkeling der wetenschap òf in het geheel niet òf in veel geringere mate bevorderd dan het geval had kunnen zijn.

Wat we hier van Beeckmans denkbeelden zullen mededelen, vormt dan ook eigenlijk geen schakel in de ontwikkelingsketen die ons bezig houdt. Het heeft echter waarde als indruk van het natuurwetenschappelijk denken van een begaafd man in het begin van de zeventiende eeuw.

72. Het belangrijkste van wat hij gedaan heeft is voor ons doel een dynamische afleiding van het verband van weg en tijd in de valbeweging, die hij in 1618 in samenwerking met Descartes gevonden heeft en die de oudst bekende geslaagde poging vormt, het verloop van den val in verband te brengen met de werking van de zwaartekracht. Wanneer we zijn

verschillende hierop betrekking hebbende aantekeningen[3] samenvatten en de uitdrukkingswijze enigszins moderniseren, kunnen we de redenering als volgt weergeven:

We denken ons de zwaartekracht niet doorlopend werkend, maar zo, dat ze telkens na verloop van een zeker tijdvak als het ware een ruk aan het vallend lichaam geeft (*sij treckt met kleijne hurtkens*[4]). Verder nemen we aan, dat een eenmaal voortgebrachte snelheid onveranderd blijft voortbestaan, zolang er geen uitwendige oorzaken zijn die haar vernietigen. Stel nu, dat bij het begin der beweging en dan verder telkens na een tijdvak τ een snelheid γ wordt voortgebracht, dan zal het vallend lichaam in het eerste tijdvak τ een weg γτ afleggen, in het tweede een weg 2 γτ (de tweede ruk heeft de snelheid verdubbeld), in het derde 3 γτ enz. In een tijdvak $t_1 = n_1 \,.\, \tau$ wordt dus afgelegd:

$$s(t_1) = \gamma\tau\,(1 + 2 + \ldots + n_1) = \frac{n_1(n_1+1)}{2}\,.\,\gamma\tau.$$

Evenzo in een tijdvak $t_2 = n_2 \,.\, \tau$

$$s(t_2) = \frac{n_2(n_2+1)}{2}\,\gamma\tau.$$

Voor de verhouding van deze wegen vindt men:

$$\frac{s(t_1)}{s(t_2)} = \frac{n_1(n_1+1)}{n_2(n_2+1)} = \frac{t_1^2 + t_1\tau}{t_2^2 + t_2\tau}.$$

Wanneer nu τ tot o nadert, gaat het trekken met rukjes over in een continue krachtwerking, terwijl de verhouding der wegen wordt:

$$\frac{s(t_1)}{s(t_2)} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

De wegen in vrijen val uit rust in zekere tijdvakken van het begin der beweging af doorlopen, verhouden zich dus als de quadraten dier tijdvakken. We hebben boven reeds uitgelegd, dat men dit in de zeventiende eeuw nog niet kan formuleren in den vorm:

$$s(t) = c \,.\, t^2.$$

Natuurlijk kon Beeckman den bovenstaanden limietovergang zo nog niet geven. Echter had hij door Descartes de methode van de graphische voorstelling leren kennen en daardoor kon hij de redenering wel meetkundig uitdrukken. Zetten we namelijk (Fig. 29) op de verticale as den tijd uit en is $OA = \tau$ en $OC = \gamma$, dan geeft de figuur voor de opvolgende tijdvakken τ de boven opgegeven wegen aan. Is nu $OA_1 = t_1$ en $OA_2 = t_2$, dan worden, als τ tot o nadert, de in deze tijdvakken afgelegde wegen blijkbaar voorgesteld door de oppervlakten der driehoeken OA_1B_1 en

OA_2B_2. Deze verhouden zich echter als de quadraten van OA_1 en OA_2, dus als t_1^2: t_2^2.

73. De gehele redenering vertoont natuurlijk verwantschap met den gedachtengang dien we Oresme in zijn werk over de latitudines formarum zagen volgen. Descartes zal zeker in zijn schooltijd bij de Jezuïeten van La Flèche zijn methoden, waarvan de herinnering, zoals we reeds zagen (III: 52), in scholastieke philosophische werken bewaard was gebleven, hebben leren kennen en in zoverre sluit Beeckmans afleiding aan bij de beschouwingen over den val van de Parijse Terministen. Er zijn echter enkele kenmerkende verschilpunten. Het eerste is, dat hij nergens

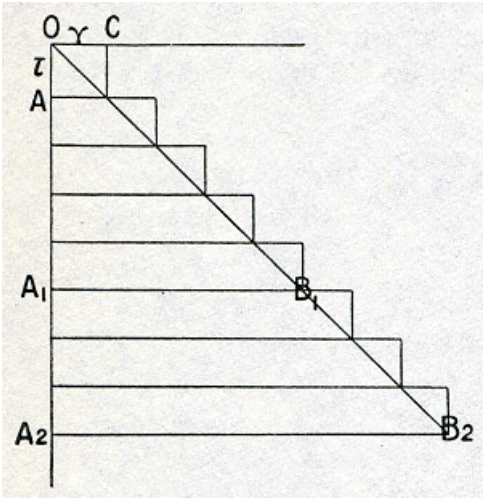


Fig. 29. Afleiding van de valwet volgens Isaac Beeckman, *Journael* I 262.

over de instantane snelheid spreekt en dus ook nergens zegt, dat zij door de horizontaal uitgezette ordinaat bij de extensio tijd wordt voorgesteld; het verband met de leer van intensio en remissio van qualiteiten is dus geheel verdwenen. Nieuw is bovendien echter de onmiskenbare invloed dien Archimedes intussen is gaan uitoefenen. Zijn werken waren in de zestiende eeuw door vertaling bekend geworden en in het bijzonder had zijn methode van zwaartepuntsbepaling reeds navolging gevonden. Deze berustte echter op dezelfde benadering van een figuur door een reeks van rechthoeken als in de bovenstaande afleiding werd toegepast. Beeckman heeft ook dit denkbeeld misschien van Descartes overgenomen; hij heeft het echter ook kunnen leren kennen uit het tweede gedeelte van Stevins *Weeghconst*, dat over zwaartepuntsbepaling handelt.

74. Beeckmans afleiding van de valwet toont, en talrijke aantekeningen in het *Journael*, waarin hij zich op het beginsel: *dat eens roert, roert altijt, soot niet belet en wort* beroept, bevestigen het[5], dat hij in het bezit is van een traagheidsinzicht, dat principieel van dat van de antieke natuurwetenschap afwijkt en reeds duidelijk tot dat van de klassieke dynamica nadert. Zoals we reeds zagen, bestond de antieke opvatting van traagheid (I: 35), die o.m. nog door Kepler (IV: 46) volledig gedeeld werd, daarin, dat een geheel aan zich zelf overgelaten lichaam in rust moet verkeren en dat beweging een toestand is, die, voorzover ze niet van nature bestaat, slechts door de voortdurende inwerking van een uitwendigen motor in stand kan worden gehouden. Ook bleek reeds (II: 112), dat de Parijse Terministen hiervan in dit opzicht afweken, dat zij den uitwendigen motor door een inwendigen, den impetus, vervingen. Hun standpunt stemde

echter in zoverre met het Aristotelische overeen, dat ook zij voor het feit van het bestaan van beweging, d.i. plaatsverandering, een oorzaak aangegeven wensten te zien. Het is nu een kenmerkend verschilpunt tussen antiek-middeleeuwse en klassieke natuurwetenschap, dat de laatste de rechtmatigheid van die causale behoefte rondweg zal ontkennen. Tegenover het ‘geen plaatsverandering zonder oorzaak’ zal zij het ‘geen snelheidsverandering zonder oorzaak’ stellen en de vraag: hoe komt het?, die de Ouden en Middeleeuwers reeds voelden rijzen, wanneer zij een lichaam nu hier en even later ginds zagen, zal zij pas gerechtvaardigd achten, wanneer zij het zich sneller of langzamer of in een andere richting dan voorheen ziet gaan bewegen.

Dat is een merkwaardig verschil in zienswijze en het allermerkwaardigste ervan is, dat elk der beide standpunten voor de aanhangers het karakter van iets vanzelfsprekends blijkt te kunnen aannemen, dat het door beide partijen als een onmiddellijk gevolg van het causaliteitsbeginsel wordt beschouwd. Zoals een Aristotelicus het evident vond, dat de plaats van een lichaam niet zonder oorzaak verandert, zullen verscheidene beoefenaren der klassieke mechanica het zonder meer duidelijk achten, dat de snelheid niet anders kan worden, wanneer voor die verandering geen oorzaak bestaat. En daar men bij een stoffelijk punt dat aan alle uitwendige invloeden onttrokken wordt gedacht, zulk een oorzaak niet kan aanwijzen, zal men aprioristische geldigheid opeisen voor de stelling, dat in dat geval grootte en richting van de snelheid constant zullen blijven en het punt zich dus eenparig rechtlijnig zal bewegen.

75. Van deze twee redeneringen is de eerste binnen het kader der Aristotelische natuurphilosophie, waarin plaats wordt opgevat als een absolute eigenschap van een lichaam en niet als een relatie tot een omgeving die zelf veranderen kan, houdbaar, de tweede echter volgens de eigen denk-beginselen der klassieke mechanica niet. Het is niet in te zien, waarom juist de snelheid in het onderstelde geval constant moet blijven in grootte en richting en niet de versnelling of de kromming van de baan of de snelheid alleen in grootte. En als men het vanzelfsprekend wil vinden, dat een bewegend lichaam dat plotseling aan alle invloeden van buiten af onttrokken wordt, zijn snelheid in richting en grootte onveranderd zal behouden, kan men het evengoed evident vinden, dat een lamp blijft branden als men de toevoerdraden voor den electrischen stroom doorsnijdt.

Inderdaad zien we Beeckman, die nog niet weten kon, welke traagheidswet zo vanzelfsprekend moest worden gevonden, op grond van hetzelfde overleg dat later toereikend zou worden geacht om die van Newton af te leiden, tot de conclusie komen, dat bij afwezigheid van alle uitwendige invloeden een lichaam dat eenmaal in rechtlijnige beweging verkeert, die rechtlijnige beweging zal behouden, maar dat het, eenmaal bezig cirkels te beschrijven, dat ook zal blijven doen. Het is duidelijk, dat dit niets af-

doet aan de juistheid van het gebruik dat hij in de afleiding van de valwet van het traagheidsbeginsel maakt.

76. We vermelden ten slotte nog, dat Beeckman de verklaring van de beweging van een voortgeworpen lichaam met behulp van het impetus-begrip volstrekt afwijst[6] op grond van het argument, dat hij er zich geen voorstelling van kan maken, wat voor ding dit aan het projectiel ingeprente bewegend vermogen eigenlijk is. Het argument typeert het standpunt, waarop men in de zeventiende eeuw ten opzichte van de scholastieke verklaringsbeginselen hoe langer hoe meer kwam te staan: men eiste voor alles een aanschouwelijke voorstelling en zag in termen als impetus, vorm, qualiteit, vermogen en derg. niet meer dan woorden, waarmee men wel iets omschrijven, maar niets verklaren kan.

Wij zullen hiermee de behandeling van Beeckmans opvattingen besluiten. Er zal nog meer dan een gelegenheid komen, aan zijn steeds zelfstandige en vaak originele denkwijze te herinneren en het te betreuren, dat dit licht nooit op den kandelaar heeft gestaan.

C. Galileo Galilei[7]

77. Er is in de gehele wetenschapsgeschiedenis wellicht geen enkele figuur aan te wijzen, waarover zo uiteenlopend geoordeeld wordt als over Galilei. Er is weliswaar niemand die op zijn wetenschappelijke grootheid iets zou willen afdingen of die zou willen ontkennen, dat hij wellicht het allermeest tot het tot stand komen van de klassieke natuurwetenschap heeft bijgedragen, maar er blijkt helemaal geen eenstemmigheid over te bestaan, waarin zijn grootheid eigenlijk bestaat en welke die bijdragen precies geweest zijn.

De kennismaking met de wetenschapshistorische litteratuur die hij in het leven heeft geroepen, werkt dan ook enigszins verbijsterend; van auteurs die zijn werken toch allen hebben bestudeerd, ziet de ene vaak het wezenlijke in wat een andere iets bijkomstigs acht en men kan hier met citaten betoogd zien, wat ginds met andere citaten bestreden wordt. Dat vindt zijn oorzaak althans ten dele hierin, dat zijn denkbeelden gedurende zijn leven een sterke ontwikkeling hebben doorgemaakt: de Galilei van Pisa is een andere dan die van Padua, de auteur van de *Discorsi* (1638), een oudere dan die van den *Dialogo* (1633), maar aangezien hij in het eerste werk brokstukken opneemt die nog uit den Paduaansen tijd dateren, is hij dit soms toch ook weer niet.

Wat de zaak nog ingewikkelder maakt, is dat tegenover de op studie van zijn werken berustende echte, zij het ook vaak eenzijdige, Galilei-beelden het onechte staat van wat men de Galilei-mythe kan noemen, van de gangbare populaire voorstelling. Het is het beeld dat in het leven wordt geroepen en gehouden door schrijvers over moderne physica die behoefte

hebben aan een historische inleiding, maar die zich niet de moeite hebben willen geven, de simpele plicht der exactheid te vervullen die bestaat in het toetsen van de gedane mededelingen aan de historische bron. Het is een door en door vals beeld, maar het straalt veel schitterender dan één der echte en de lezer is daardoor spoedig geneigd, er genoegen mee te nemen. Bovendien werkt het sterk vereenvoudigend: in zijn glans overstraalt het alle figuren van het tweede plan. En het verschaft een eenvoudige terminologie, doordat het, als er behoefte bestaat aan een term om het eigene der klassieke natuurwetenschap te karakteriseren, dadelijk het adjectief Galileïsch op de lippen brengt. Het is daardoor begrijpelijk, dat kritiek op de ideale voorstelling die het inhoudt, gemakkelijk ergernis opwekt, terwijl Italiaanse auteurs er zich bovendien spoedig door gekwetst voelen in hun nationalen trots[8].

78. De taak, over Galilei te schrijven, moge door dit alles moeilijk worden gemaakt, ze is er niet minder aantrekkelijk om. Een situatie als de boven geschetste zou nooit ontstaan zijn, wanneer Galilei niet de centrale figuur van den overgang van antiek-middeleeuws tot klassieke natuurwetenschappelijk denken geweest was, enerzijds wortelend in een verleden dat hem er niet minder sterk om bindt, dat hij het zo heftig verloochent, anderzijds een toekomst voorbereidend, waarin zijn denkbeelden tot gevolgtrekkingen zouden leiden die veel verder strekten, dan hij ooit heeft kunnen voorzien. Daarom bestaat er geen deugdelijker middel om iets van dien overgang te leren begrijpen dan de ontwikkeling van zijn schakelpositie tussen het oude en het nieuwe te vervolgen.

79. Wanneer men hem in de te Pisa ontstane, maar tijdens zijn leven niet gepubliceerde geschriften *De Motu*[9] voor het eerst aan het woord hoort, kan men zich in de collegezaal van Buridan verplaatst wanen. Wel is zijn stijl dan weinig passend: alle banden der scholastieke traditie zijn verbroken; een levendig betoog vervangt de streng systematische behandeling van de stof. Maar de gedachten zijn nauw verwant met die der Parijse Terministen en in het bijzonder zijn de argumenten waarmee de Aristotelische theorie van het aandeel van het medium in het onderhouden van den worp bestreden wordt, nog steeds dezelfde als die zij gebruikten: het voortschieten van een pijl tegen een fellen wind in, het tijdelijk voortduren van de beweging van een stroomopwaarts geroeid schip, nadat de riemen uit het water zijn genomen, de langdurige beweging van een gladden roterenden bol, waarom heen de lucht toch vrijwel in rust blijft. Wat te Parijs impetus heette, komt hier voor als *vis impressa* (ingeprente kracht), waarvoor Galilei later ook vaak *impeto* zal zeggen (welk woord bij hem echter ook weer een heel andere betekenis kan hebben). Zij wordt voor het geval van een verticaal omhoog geworpen lichaam geïnterpreteerd als een tijdelijke lichtheid, die de natuurlijke zwaarte overwint. Zij neemt van nature (dus niet door uitwendige invloeden) af en het lichaam bereikt zijn hoogste punt, wanneer het bedrag waarmee zij de zwaarte overtreft, ver-

dwenen is. Dan begint de val, die zolang versneld zal zijn als de nog overblijvende vis impressa tijd nodig heeft om geheel te verdwijnen en die dan verder onder invloed van de constante zwaarte eenparig zal verlopen. Deze theorie voert dus tot het bestaan van het z.g. *punctum aequalitatis* (eenparigheidspunt), waar de val eenparig wordt; bij Beeckman kan men hetzelfde begrip aantreffen[10]; bij hem lag de oorzaak ervan echter in den met de snelheid van het lichaam aangroeienden luchtweerstand, terwijl Galilei haar zoekt in de spontane vermindering van de bewegings-qualiteit die hij vis impressa noemt; voor hem bestaat het punctum aequalitatis dus ook in vacuo.

Het blijkt wel, dat de impetus-theorie in haar uitwerking nog ruimte liet voor allerlei varianten: had Buridan de versnelde valbeweging verklaard door het toenemen van den impetus, Galilei doet het door het afnemen van de vis impressa (die in het geval van een uit rust vallend lichaam aanvankelijk gelijk wordt gedacht aan het gewicht, zodat dit dadelijk de overhand krijgt als het lichaam wordt losgelaten). Daardoor kon bij den eerste de snelheid onbeperkt aangroeien, terwijl ze bij Galilei een maximum bereikt.

80. Zoals Benedetti reeds vóór hem gedaan had (III: 57), bestrijdt Galilei, steunend op de theorie van de opwaartse kracht die een lichaam van een medium ondervindt, het bestaansrecht van de Aristotelische onderscheiding tussen zware en lichte lichamen, waarvan de eerste van nature omlaag, de tweede omhoog zouden gaan. Dit is een van de symptomen van den veldwinnenden invloed van Archimedes. Eveneens in aansluiting aan Benedetti beredeneert hij, dat lichamen van dezelfde stof in vacuo even snel zouden vallen, terwijl hij voor lichamen van verschillende stof de valsnelheid in vacuo (we herinneren er aan, dat hiermee de gemiddelde snelheid over een zekeren afstand bedoeld wordt) evenredig stelt met het soortelijk gewicht en in pleno met het bedrag waarmee het soortelijk gewicht van het lichaam dat van het medium overtreft. In den luchtweerstand heeft hij een minder helder inzicht dan Benedetti; men krijgt sterk den indruk, dat hij den weerstand dien een medium tegen zijn verdeling door een vallend lichaam biedt, niet onderscheidt van de opwaartse kracht die het op dat lichaam uitoefent.

81. Van opzienbarende valproeven van den Scheven Toren te Pisa die hij gedurende zijn professoraat te Pisa zou hebben gedaan en waardoor volgens de legende de peripatetische philosophie een vernietigenden slag zou hebben ontvangen, blijkt uit de geschriften *De Motu* evenmin iets als uit enig later werk van Galilei. Er bestaat alle aanleiding, dit verhaal te wantrouwen. Wanneer Galilei jaren later te Florence gewikkeld is in een discussie over het drijven van lichamen in een vloeistof, is er wel een keer sprake van een valproef van den Scheven Toren af; het is echter een van zijn tegenstanders, die haar gedaan en er de Aristotelische evenredigheid van valsnelheid en gewicht door bevestigd beweert te hebben. Blijk-

baar heeft hij haar dus ook niet uitgevoerd. Men moet in het algemeen tegen verhalen over gedane proeven, zowel bij Galilei als bij zijn tegenstanders, altijd een zekere reserve in acht nemen. Meestal zijn ze alleen in gedachten uitgevoerd of worden ze slechts als mogelijkheid beschreven.

Zoals we naar aanleiding van de proef van Stevin en de Groot reeds opmerkten (IV: 69), was het aan Galilei toegeschreven Pisaanse experiment al vaker uitgevoerd, zonder dat er veel notitie van genomen was. Er was heel wat meer nodig om de Aristotelische heerschappij over het denken te breken dan het constateren van een verschijnsel dat met een van zijn beweringen in strijd was.

82. In een later stadium van zijn ontwikkeling, waarvan we den neerslag vinden in den Eersten Dag van de *Discorsi*, breidt Galilei de stelling, dat de valsnelheid in vacuo onafhankelijk is van het gewicht van een vallend lichaam, uit tot lichamen van verschillende stof op grond van de overweging, dat het verschil der valsnelheden voor lichamen van verschillend soortelijk gewicht des te kleiner blijkt te worden, naarmate het medium ijler is; het is dus redelijk om te verwachten, dat het in vacuo geheel verdwenen zal zijn. Dit vermoeden wordt hierna op de proef gesteld door valproeven op een hellend vlak met kleinen hellingshoek en door waarnemingen aan twee slingers, waarvan de ene een slingerlichaam van kurk heeft en de andere een van lood, dat honderdmaal zo zwaar is.

In overeenstemming met deze wijziging in de valwet in vacuo brengt Galilei nu ook een verandering aan in die voor het plenum. Deze moet zo zijn, dat de berekende valsnelheid nadert tot die voor het vacuum, als het soortelijk gewicht van het medium tot o nadert. In een formule uitgedrukt luidt ze:

$$v = c \cdot \frac{S - S_m}{S}$$

waarin v de gemiddelde snelheid over een zekeren weg beduidt (dat de grootte van dien weg niet wordt opgegeven, wijst er op, dat er niet gelet wordt op het feit, dat de valbeweging versneld is), S het soortelijk gewicht van het vallend lichaam, S_m dat van het medium, terwijl de evenredig-heidsfactor blijkbaar de valsnelheid in vacuo beduidt. Het verdient opmerking, dat Galilei thans wel een duidelijke uiteenzetting geeft van de wijze waarop het medium weerstand tegen beweging biedt, maar dat in zijn stelling toch alleen rekening wordt gehouden met de opwaartse kracht.

83. Men ziet, dat Galilei tot dusver altij d nog aan den middeleeuwsen kant van de grenslijn tussen oude en nieuwe natuurwetenschap staat, al behoort hij daar wel tot de partij die ten aanzien van de Aristotelische bewegingsleer sterk kritisch gestemd is. Al zijn felle polemische uitvallen tegen den Stagiriet kunnen niet over het hoofd doen zien, dat hij in wezen nog even sterk onder zijn machtigen invloed staat als de Parijse Terministen.

Twee oorzaken hebben samengewerkt om te maken, dat dit niet zo ge-

bleven is: de mathematische inslag van zijn denken en de bekoring die het Copernicaanse wereldbeeld op hem heeft uitgeoefend. De eerste heeft hem van jongs af onder den invloed van Archimedes gebracht en hem in het heersende meningsverschil van zijn tijd over de juiste methode der natuurwetenschap de Platonische richting, die de wiskunde als essentieel bestanddeel van het natuuronderzoek zag, doen verkiezen boven de Aristotelische, waarvoor zij ten hoogste een bruikbaar hulpmiddel was, maar die de beschouwing van het qualitatieve der verschijnselen belangrijker achtte dan het opsporen van de quantitatieve relaties die er aan op te merken waren. De tweede heeft hem een levensdoel gegeven, dat zijn ganse denken en voelen zou gaan beheersen: de overtuiging ingang te doen vinden, dat het heliocentrische wereldstelsel niet een mathematische fictie was, die de berekeningen der astronomen vereenvoudigde, maar de volle physische waarheid aangaande den wereldbouw bevatte.

84. De gezamenlijke uitwerking van deze twee invloeden is eerst na een langdurig rijpingsproces aan het licht getreden. Wanneer Galilei in 1609 zijn leerstoel aan de Universiteit te Padua opgeeft en als hofmathematicus van Groothertog Cosimo II naar zijn oude woonplaats Florence terugkeert - het is de noodlottigste stap van zijn leven geweest - is hij vijf en veertig jaar oud, maar nog is er geen geschrift van zijn hand verschenen waaruit iets van zijn nieuwe denkbeelden blijkt en in zijn universitair onderwijs heeft hij zich in den regel aan de traditionele leerstof gehouden.

Hoe dat rijpingsproces verlopen is, weten we slechts zeer ten dele uit enkele later gepubliceerde aantekeningen uit de jaren in Padua en uit brieven; wat er de vruchten van waren, leren de later verschenen werken en wel vooral de *Dialogo* (1632) en de *Discorsi* (1638). Ons interesseert thans voornamelijk wat ze over mechanica bevatten. Deze laat zich echter bij Galilei zelden als afzonderlijk vak behandelen, omdat hij haar in dienst stelt van zijn verdediging van de physische realiteit van het Copernicaanse stelsel. We zullen voorlopig echter niet verder op den astronomischen kant van zijn beschouwingen ingaan dan voor het inzicht in zijn bijdragen tot de mechanica zelve strikt nodig is.

85. De mechanica van Galilei bestaat voor het allergrootste deel uit een studie van de verschijnselen van val en worp. Als men let op de belangrijke plaats die dit onderwerp in de Parijse scholastiek der veertiende eeuw had ingenomen en op de belangstelling die het in de Renaissance genoten had, is dit op zichzelf niet verwonderlijk. Waar het echter op aankomt is, dat hij te Padua die studie in geheel anderen geest is gaan opzetten dan hij haar, de traditie volgend, te Pisa had bedreven. Hij ziet thans namelijk principieel af van alle vragen die de oorzaak van de te onderzoeken bewegingen betreffen en stelt zich voorlopig uitsluitend ten doel, haar verloop zoo nauwkeurig mogelijk te leren kennen.

Er is in de gesprekken die in den *Dialogo* tussen Salviati (die voor Galilei zelf spreekt), Sagredo (den verstandigen leek) en Simplicio (den

vertegenwoordiger der Aristotelische philosophie) gevoerd worden, één passage, die bij uitstek geschikt is om den nieuwen aanpak van het probleem te verhelderen. Het is, waar Salviati, uitgedaagd om het principe aan te wijzen, waaraan de beweging van de aarde zou kunnen worden toegeschreven (Simplicio wil in zijn peripatetische denkwijze weten, of het een in- of een uitwendig principe is), zich bereid verklaart dat te doen, wanneer zijn bestrijder eerst zal hebben gezegd, door welke oorzaak de delen van de aarde naar beneden worden gevoerd. 'Dat is heel bekend,' luidt het antwoord, 'iedereen weet, dat dit de zwaarte is.' Waarop Salviati: 'Gij vergist U, Signog Simplicio, Gij hadt moeten zeggen: iedereen weet, dat zij zwaarte *heeft*'[11]. En hij legt dan verder uit, dat we, door een telkens weer optredend verschijnsel met een bepaalden naam aan te duiden, ons wel kunnen gaan verbeelden, dat we er nu iets van begrijpen, maar dat al ons z.g. verklaren van natuurverschijnselen in laatste instantie neerkomt op het benoemen van een in wezen onbekende oorzaak met een woord: zwaarte, virtus, impressa, intelligentia informans (inwendig geestelijk bewegingsprincipe van een bezield lichaam), intelligentia assis-tans (geestelijke inwerking van buitenaf) of in het algemeen natuur.

86. Het is een uiterst eenvoudig inzicht dat hier wordt uitgesproken; het zal menigen hedendaagsen lezer wellicht te evident lijken om er zoveel aandacht aan te wijden. Maar het legt in zijn eenvoudige klaarheid den vinger op wat wellicht de allerwondste plek van de Aristotelische natuur-philosophie was, de illusie, dat wij, alleen door namen te geven, onze feitelijke kennis van de natuur zouden kunnen uitbreiden. Het sluit niet in - mag althans niet insluiten - dat het geven van namen niet belangrijk zou zijn. Integendeel: wij kunnen niet denken zonder begrippen en begrippen niet hanteren als we ze niet door een woord kunnen aanduiden. Begripsvorming vereist dus naamgeving en in zoverre kan het kiezen van een juisten naam een geestelijke verrichting van hoge waarde zijn. Echter is voor het vormen van bruikbare natuurwetenschappelijke begrippen een omvangrijke kennis van natuurverschijnselen nodig en wanneer deze ontoereikend of onbetrouwbaar is of naar een verkeerd gezichtspunt geordend wordt, is het gevormde begrip onvruchtbaar en de gekozen naam die als klank tot het begrip toch altijd nog slechts de relatie heeft waarin tot een voorwerp zijn schaduw staat, nog nuttelozer. -

Galilei trekt uit dit inzicht de volle consequenties: het is tijd, het praten te staken, met namen geven op te houden. Men mag kortheidshalve blijven zeggen, dat de valbeweging toe te schrijven is aan de werking van een van nature aan een lichaam eigen streven naar het aardcentrum, mits men dan voorlopig maar niet te veel over dat streven, waarvan we verder niets weten, spreekt en eerst eens moeite doet, den val zelf, dien we althans kunnen waarnemen, beter te leren kennen.

87. In vol bewustzijn van wat hij doet, schakelt Galilei dus de dynamische beschouwingswijze uit en beperkt zich tot de kinematische. Niet het

waardoor, nog minder het waartoe, maar uitsluitend het hoe zal hem interesseren. Het gaat voorlopig niet om verklaren, maar om beschrijven.

Het is een beperking die hij oplegt aan zich zelf, niet aan de wetenschap. Hij ziet zich als wegbereider. Wanneer eenmaal nauwkeurig bekend zal zijn, hoe de lichamen vallen, wanneer men dus m.a.w. voor het meest alledaagse bewegingsverschijnsel eens zover zal zijn gekomen als de astronomen waren, toen ze de waargenomen planeetposities in een kinematisch wereldbeeld konden voorstellen, zal het wellicht aan dieper doordringende geesten voorbehouden blijven, ook tot een dieper inzicht in de natuur van den val en haar wetten te komen.

Het gaat er dus om, de verschijnselen van den val te redden; we weten, dat ze versneld is; het probleem bestaat in het mathematisch definiëren van een beweging waarvan het verloop overeenstemt met wat de waarneming geleerd heeft en nog zal leren. De metodo risolutivo (III: 16), de onopzettelijk verworven, zich als het ware aan ons opdringende zinlijke ervaring analyserend, heeft de taak gesteld; de metodo compositivo zal haar uitvoeren en de experimentele verificatie die haar resultaten gedogen en vereisen, zal de proef op de som leveren. Met volkomen scherpte stelt Galilei voor goed de wetenschappelijke methode voor het onderzoek der anorganische natuur vast.

88. Wij weten, dat er reeds eerder onderstellingen over het verloop van de valbeweging waren gemaakt; Albert van Saksen (II: 115) had de instantane valsnelheid evenredig gedacht aan den afgelegden weg en Leonardo da Vinci (III: 45) had de even onhoudbare betrekking opgesteld, dat de wegen, in opvolgende gelijke tijden afgelegd, zich verhouden als de opvolgende natuurlijke getallen. Ook hebben we reeds gezien, dat Oresme een middel had geleerd om voor een beweging, waarbij de instantane snelheid evenredig is met den sedert het begin der beweging verstreken tijd, den afgelegden weg te berekenen (II: 128) en dat in scholastieke geschriften van de zestiende eeuw de val als voorbeeld voor zulk een beweging behandeld was (II: 130).

Het is alleszins aannemelijk, dat Galilei, die te Padua jarenlang vertoefd heeft in een intens levend academisch milieu, waarin de tradities der scholastiek hoog werden gehouden, met dit alles op de hoogte zal zijn geweest, dat hij zowel de graphieken van Oresme, die immers nog steeds voor illustratiedoeleinden werden gebruikt, gekend heeft als de z.g. quadratenwet, die uitspreekt, dat de in val uit rust afgelegde weg evenredig is met het vierkant van den sedert het begin der beweging verstreken tijd. Even waarschijnlijk is het echter, dat er in het universitaire onderwijs niet zo heel veel aandacht aan besteed zal zijn: voor de peripatetische philosophie hadden quantitatieve relaties nu eenmaal niet de overheersende positie die zij in de klassieke natuurwetenschap zouden gaan innemen.

89. Hoe dit alles zij, het staat op grond van uitlatingen in brieven on-

omstotelijk vast, dat Galilei in 1604 de quadratenwet kende en dat hij toen bezig was met het verzinnen van een hypothese over de wijze waarop de instantane snelheid in den val groeit, die als axioma bij de afleiding van deze wet gebruikt zou kunnen worden. En uit nagelaten en later gepubliceerde aantekeningen weten we, dat de eerste gedachte die zich daarbij aan hem opdrong, dezelfde was die vroeger al bij Albert van Saksen gerezen was, namelijk die van evenredigheid van instantane snelheid en afgelegden weg. Merkwaardiger dan deze overeenstemming is echter nog, dat hij uit deze onderstelling, waarvan hij later in de *Discorsi* zelf de ondenkbaarheid zou aantonen, de juiste betrekking tussen weg en tijd heeft afgeleid, de quadratenwet met haar corollarium, dat de wegen in opvolgende gelijke tijden zich verhouden als de opvolgende oneven getallen (de wet der oneven getallen, een onmiddellijk gevolg van het feit, dat de opvolgende verschillen van de quadraten der natuurlijke getallen de oneven getallen zijn).

Natuurlijk is dat niet eerlijk in zijn werk gegaan. De redenering is door en door vals en zij zou ook nooit tot een goed eind gebracht hebben kunnen zijn, als dat eind niet reeds van te voren had vastgestaan.

90. Men kan op dit punt natuurlijk de vraag stellen, of de wetenschapsgeschiedenis niets beters te doen heeft dan de nagelaten kladpapieren van een groot man door te snuffelen om te zien, of hij soms in den loop van zijn onderzoekingen ook fouten gemaakt heeft. Maar die vraag is tendentieus gesteld: het gaat er niet in de eerste plaats om, of wat er op die papieren staat, goed of fout is, al zijn foutieve redeneringen in den regel wel het meest instructief. Overigens kan men haar slechts bevestigend beantwoorden: nagelaten kladpapieren zijn inderdaad de bronnen bij uitnemendheid die ons voor de reconstructie van de ontwikkeling van het wetenschappelijk denken ter beschikking staan, omdat zij juist datgene schenken wat, met een zeldzame uitzondering als die van Kepler (IV: 30), uit het voltooide werk niet meer is op te maken: inzicht in de wijze, waarop het logisch onberispelijk geordende stelsel van definities, axiomata en stellingen dat daarin wordt meegedeeld, eigenlijk gegroeid is.

En zo leert ons dan ook het kladpapier, waarop Galilei zich in de wonderlijkste logische bochten moet wringen om uit een onhoudbare praemisse een juist inzicht af te leiden, tal van belangrijke dingen. Onder meer al dit ene, in de wetenschapsgeschiedenis nog zo vaak veronachtzaamde beginsel, dat wanneer een stelling *B* (i.c. de quadratenwet) in feite een gevolgtrekking is uit een stelling *A* (i.c. de evenredigheid van instantane snelheid en verstreken tijd), men aan iemand die *B* blijkt te kennen, daarom nog niet de kennis van *A* en van het logische verband tussen *A* en *B* mag toeschrijven. Vervolgens kunnen we aan de hand van het fragment vaststellen, dat Galilei zich voor zijn afleiding heeft bediend van een graphische voorstelling, waarin de afgelegde weg als extensio en de instantane snelheid als latitudo fungeert. En ten slotte onttrekt het, mede

in verband met uitlatingen in brieven, iederen steun aan de in de Galilei-mythe hardnekkig in stand gehouden voorstelling, als zoude hij de quadratenwet op het spoor zijn gekomen door aan een vallend lichaam een aantal metingen van weg en tijd te verrichten en in de verkregen waarden de relatie op te merken, dat er een constante verhouding bestaat tussen de eerste grootheid en het quadraat van de tweede. Deze voorstelling is bovendien met alles wat we over de plaats van het experiment in Galilei's natuurwetenschappelijk denken weten, in volstrekten strijd.

91. Door het axioma van de evenredigheid tussen snelheid en weg in dier voege uit te breiden op valbeweging langs gladde hellende vlakken, dat daarin inplaats van den afgelegden weg de verticale afstand tot het uitgangspunt komt te staan, kan Galilei uit zijn onjuiste praemisse ook nog de juiste stelling afleiden, dat de eindsnelheid van een val over een hellend vlak alleen afhangt van het bedrag van de verticale daling van het bewegende punt, maar niet van den hellingshoek.

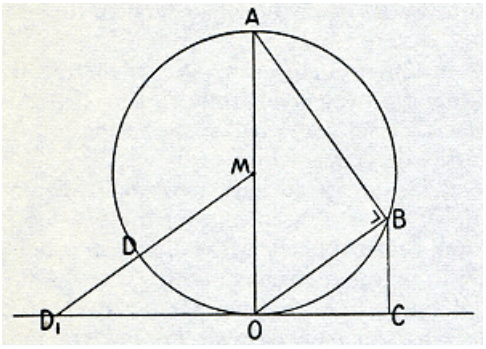


Fig. 30. Dekoordenwet van Galilei. Stoffelijke punten, die gelijktijdig in de punten *A* en *B* van een verticaal opgestelden cirkel worden losgelaten, bereiken gelijktijdig het laagste punt *O*. Dynamische afleiding.

En vervolgens leidt hij nog de voor zijn later werk belangrijke stelling af, dat stoffelijke punten die, gelijktijdig losgelaten in punten van een verticaal geplaatsten cirkel (Fig. 30), langs koorden het laagste punt *O* van dien cirkel bereiken, daar gelijktijdig aankomen. Dit bewijs vereist echter een dynamische redenering. Galilei ontleent aan de Statica van Jordanus de stelling, dat het *momentum gravitatis* (d.w.z. de gewichtscomponent) op een hellend vlak zich tot het gewicht verhoudt als de hoogte tot de lengte (voor het vlak *OB* dus als *BC*: *OB*). Daar ∠ *ABO* recht is, geldt echter:

$$BC/OB = OB/OA.$$

De langs *AO* en *BO* werkende krachten verhouden zich dus als de af te leggen wegen en daar de krachten evenredig zijn met de snelheden zijn de benodigde tijden gelijk.

In dit bewijs wordt geen beroep meer gedaan op de evenredigheid van snelheid en afgelegden weg, maar op de grondwet der peripatetische dynamica: snelheid is namelijk nu als gemiddelde snelheid te verstaan.

92. Het is niet onmogelijk, dat de twee boven meegedeelde afleidingen

bij den lezer een zekere ontsteltenis zullen hebben teweeggebracht. In de eerste was het uitgangspunt onjuist, in de tweede een der toegepaste stellingen. Hoe is het mogelijk, dat de resultaten toch juist zijn?

Voor de eerste stelling luidt het antwoord hierop, dat de eindsnelheid bij val langs een hellend vlak in feite evenredig is met den wortel uit het bedrag der verticale daling inplaats van met dit bedrag zelf. Zij hangt dus inderdaad alleen van de verticale daling en niet van den hellingshoek af.

In het tweede geval is de situatie iets anders. Volgens de klassieke dynamica geldt voor een stoffelijk punt met massa m, waarop een kracht K werkt, de betrekking:

$$K = ma,$$

terwijl de na t sec. bereikte snelheid $v(t)$ voor een beweging uit rust bepaald wordt door:

$$v(t) = at$$

en de gemiddelde snelheid v_m over dat tijdvak door:

$$v_m = \tfrac{1}{2}\, v(t).$$

Uit deze drie betrekkingen volgt:

$$K.t = 2.m.\, v_m \qquad (1)$$

zodat dus voor bewegingen van eenzelfde stoffelijk punt onder invloed van verschillende krachten, die echter even lang duren, de gemiddelde snelheden zich verhouden als de krachten. Dat is nu echter juist wat de grondwet der peripatetische dynamica ook inhoudt. Daarom geeft deze juiste resultaten, zolang men bewegingen van eenzelfde stoffelijk punt beschouwt die even lang duren en dat was in de boven gegeven afleiding het geval.

Had Galilei zich echter de vraag gesteld naar de verhoudingen van de tijden, waarin punten, die, in M (Fig. 30) zonder beginsnelheid losgelaten, de stralen van den cirkel doorlopen, dan zou hij gevonden hebben, dat de tijden over MD en MO zich verhouden als MD_1 tot MO, als D_1 het snijpunt is van het verlengde MA met de horizontale rechte door O, terwijl in werkelijkheid de verhouding van deze lijnstukken gelijk is aan die van de quadraten der benodigde tijden.

93. Men ziet hieruit tevens, hoe verduisterend het voor de natuurwetenschap geweest is, dat men in de zeventiende (en ook nog in de achttiende) eeuw de relaties tussen physische grootheden steeds is blijven aangeven in den vorm van in woorden uitgedrukte en ten hoogste als gelijkheid van twee verhoudingen geschreven evenredigheden inplaats van ze als functies te schrijven. Dat wil zeggen: wanneer bij de waarden A_1, A_2.... van een veranderlijke grootheid A opv. de waarden B_1, B_2... en een

van *A* afhankelijke veranderlijke grootheid *B* behoren, die voldoen aan de betrekkingen:

$$A_1 : A_2 = B_1 : B_2 \; A_1 : A_3 = B_1 : B_3 \text{ enz.}$$

zei men, dat *A* evenredig is met *B*, maar schreef niet:

$$A = c.B.$$

Het verschil wordt duidelijk, wanneer men de betrekking (1) beschouwt. Deze drukt uit, dat V_m voor een gegeven stoffelijk punt slechts zolang evenredig is met *K*, als *t* constant is, dus bij vergelijking van bewegingen van eenzelfde stoffelijk punt, die even lang duren. Zodra men echter gaat schrijven:

$$K_1 : K_2 = (v_m)_1 : (v_m)_2$$

staat de beperkende voorwaarde niet meer uitgedrukt en is de weg tot velerlei misvatting geopend.

94. Wij weten niet, wanneer Galilei tot een beter inzicht in de wijze van aangroeiing der snelheid gekomen is. In den *Dialogo* en in de *Discorsi* gaat hij echter uit van de onderstelling, dat zij evenredig is met den tijd en daar het gedeelte dezer werken dat over valbeweging handelt, berust op een afzonderlijke, in het Latijn gestelde verhandeling van een Academicus (die blijkbaar Galilei zelf als Paduaans hoogleraar is) kan men het aannemelijk achten, dat hij niet lang na den tijd waaruit het boven behandelde fragment afkomstig is, wel den juisten weg zal hebben gevonden. Hij motiveert het nieuwe uitgangspunt met een beroep op het eeuwenoude beginsel dat den natuuronderzoekers altijd als leidraad heeft gediend, namelijk dat de natuur alles zo eenvoudig mogelijk doet. Het beroep zou overtuigender werken, wanneer wij niet juist ervaren hadden, dat het moeilijk kan zijn, uit te maken, wat het eenvoudigste is: evenredigheid van snelheid en weg scheen aanvankelijk meer voor de hand te liggen.

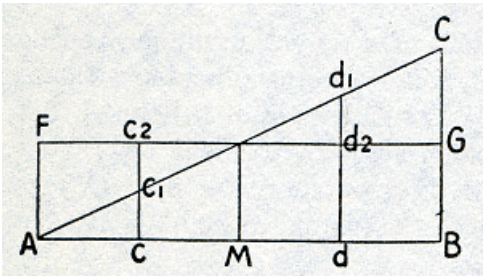


Fig. 31. Afleiding van de betrekking tussen weg en tijd in de eenparig veranderlijke beweging volgens Galilei, *Discorsi* III 1 (*Opere* VIII 208).

Opnieuw voor de taak gesteld, de quadratenwet af te leiden, maakt Galilei opnieuw gebruik van de methode der graphische voorstelling, waarbij nu echter de tijd als extensio fungeert. Er ontstaat dus een graphiek van den vorm dien we Oresme voor de qualitas uniformiter difformis zagen gebruiken (II: 128).

Het valt echter op, dat zijn manier van redeneren van die van Oresme verschilt. Had deze (Fig. 31) de oppervlakten van den driehoek *ABC* en van den vierhoek *ABGF* op-

gevat als voorstellingen, van den afgelegden weg opv. in de eenparig veranderlijke beweging en in de eenparige beweging met de snelheid van het middelste ogenblik tot snelheid, om daarna uit de gelijkheid der oppervlakten den naar hem genoemden regel af te leiden, zo beschouwt Galilei niet de oppervlakten, maar de verzamelingen der ordinaten der beide figuren, die hij op schijnt te vatten als een soort totale snelheid, waarmee een weg doorlopen wordt. Daar nu echter twee ordinaten die symmetrisch liggen ten opzichte van het midden *M* van *AB* in beide figuren dezelfde som hebben ($cc_1 + dd_1 = cc_2 + dd_2$) noemt hij de snelheidsaggregaten gelijk en daar de tijden het ook zijn, moeten ook de wegen gelijk zijn. Uit den hiermee afgeleiden regel leidt hij hierna de quadratenwet af, waarbij hij opnieuw niet over oppervlakten spreekt, en vervolgens de wet der oneven getallen.

95. Het is duidelijk, dat wanneer Galilei zuiver kinematisch te werk wil blijven gaan, hij er niet in zal slagen, de boven gevonden valwetten uit te breiden tot val langs hellende vlakken. Om zich uit deze moeilijkheid te redden, postuleert hij, niet alleen dat ook hier de instantane valsnelheid evenredig is met den verstreken tijd, maar tevens, dat de boven afgeleide stelling over de gelijkheid der eindsnelheden bij val over een gegeven verticalen afstand geldig zal zijn.

Na het verschijnen van den eersten druk van de *Discorsi* heeft hij nog een dynamisch bewijs voor deze eigenschap gevonden, dat in de latere edities als Scholium bij Theorema II is ingelast en daar te midden van de zuiver kinematische beschouwingen van den Derden Dag nogal detoneert. Het is bovendien zeer duister gesteld: eenzelfde woord, *impeto*, fungeert er in twee geheel verschillende betekenissen in en het kost moeite, er een redelijken zin aan te verbinden. Voor zover dat gelukt, blijkt nu echter, dat het nog steeds berust op de grondwet der peripatetische dynamica, die we hem ook in 1604 zagen toepassen, maar dat deze weer gebruikt wordt ter vergelijking van bewegingen die even lang duren, dus voor een geval waarin zij hetzelfde resultaat geeft als in de klassieke dynamica verkregen zou zijn.

96. De mening, dat Galilei aan het eind van zijn leven nog steeds een evenredigheid tussen kracht en (gemiddelde) snelheid zou hebben aangenomen, is natuurlijk volkomen in strijd met de mythe, waarin hij als de grondlegger van de klassieke dynamica optreedt en waarin hij dus geacht wordt, de evenredigheid van kracht en versnelling te kennen, die deze karakteriseert. Het lijdt echter voor wie Galilei uit zijn eigen werken en niet uit mededelingen van anderen heeft leren kennen, geen twijfel, dat hij dat inzicht nooit bezeten heeft. Vooreerst al omdat zo hij werkelijk op dit kardinaalste aller verschilpunten tussen antieke en klassieke mechanica van de Aristotelische traditie zou zijn afgeweken, hij het toch wel eens ergens gezegd zou hebben en zich de prachtige daardoor geboden gelegenheid om nog eens weer tegen Aristoteles te polemiseren, onge-

twijfeld niet zou hebben laten ontgaan. Vervolgens omdat men niet zou weten, op welke plaats van zijn werk het nieuwe inzicht eigenlijk uitgesproken zou kunnen zijn. Zoals we al gezien hebben, zijn de dynamische redeneringen die hij in zijn jeugdjaren houdt, zuiver Aristotelisch. Daarna echter schakelt hij de dynamische behandelingswijze van de valbeweging bewust uit en plaatst zich geheel op kinematisch standpunt. En dan geeft hij aan het eind van zijn leven nog eenmaal een dynamisch bewijs, dat zich ongedwongen alleen in de zuiver peripatetische opvatting laat interpreteren. Waar is hier ruimte voor het inlassen van de gans anders gerichte dynamische beschouwingswijze die karakteristiek zou worden voor de klassieke physica? Men moet niet te veel verlangen. Het komt voor, dat men in eenzelfde werk Galilei eerst hoort prijzen om de wijze zelfbeperking tot het kinematische en daarna hoort verheerlijken, omdat hij door zijn leer van den val de klassieke dynamica zou hebben gegrondvest.

97. Dat we hierover zo uitvoerig spreken, komt waarlijk niet voort uit een kleinzielige behoefte om ook maar een tittel af te dingen op de onmiskenbare grootheid van een der geniaalste figuren die de wetenschapsgeschiedenis kent. Wij doen het alleen, omdat het contrast tussen de wijze waarop zich de ontwikkeling der physica werkelijk heeft afgespeeld en de voorstellingen die daarover in omloop zijn, nergens zulke groteske vormen aanneemt als in het geval van Galilei en omdat zich ook nergens zo duidelijk de principiële denkfout in het reconstrueren van den historischen gang van zaken openbaart die we boven (IV: 90) reeds aanwezen: omdat de zwaarte bij niet te grote verwijdering van het aardoppervlak als een constante kracht mag worden beschouwd en een constante kracht een constante versnelling in het leven roept, is de val een eenparig veranderlijke beweging. Galilei weet, dat de val een eenparig veranderlijke beweging is; dus moet hij geweten hebben... enz. Deze manier van redeneren is er niet minder gebruikelijk om, dat ze onjuist is; de ganse Galilei-mythe is er op gebouwd.

98. Iets soortgelijks doet zich voor bij een wijdverspreide mening over de positie van het experiment in zijn behandeling van de valwet. Men is het op een gegeven ogenblik didactisch wenselijk gaan achten, de quadratenwet als het ware te laten aflezen uit aan elkaar toegevoegde waarden van weg en tijd en ging het toen vanzelfsprekend vinden, dat Galilei ook zo te werk moest zijn gegaan. Deze voorstelling is echter niet alleen feitelijk onjuist, maar tevens in strijd met zijn methodische beginselen. Hij experimenteert niet om een natuurwet op het spoor te komen, maar om een relatie die hij door mathematische redenering uit min of meer evident lijkende onderstellingen heeft afgeleid, achteraf te verifiëren.

Zo beschrijft hij dan ook na afleiding van de quadratenwet, hoe hij deze door herhaalde proefneming met een flauw hellende valgoot steeds bevestigd heeft gevonden, terwijl hij na de opstelling van het postulaat

der gelijke eindsnelheden in val bewegingen langs verschillende vlakken over dezelfde hoogte bij wijze van verificatie een proef met een slinger beschrijft waarvan het koord bij het passeren van de verticaal tegen een pen stoot, zodat de slingerlengte verkort wordt; het blijkt dan, dat het slinger-lichaam toch weer dezelfde hoogte bereikt. De snelheid in het laagste punt is dus voldoende om het lichaam op verschillende cirkelvormige banen (die als aaneenschakelingen van hellende vlakken met verschillende hellingshoeken worden beschouwd) dezelfde hoogte te doen bereiken. Daardoor wordt het postulaat aannemelijk gemaakt.

99. De plaats die het experimenteren bij Galilei inneemt, is er in beginsel natuurlijk niet minder belangrijk om, dat het niet dient om een geheel nieuw verschijnsel op te sporen, maar om het resultaat van een theoretische redenering op de proef te stellen. Als dat wel zo was, zou de methodische betekenis van het experiment in de gehele klassieke en moderne natuurwetenschap aanzienlijk dalen, omdat het bijna steeds dient om meer of minder vast gefundeerde vermoedens te verifiëren of de beslissing tussen twee mogelijkheden te brengen. In de practijk van Galilei's werk blijft het echter bij zijn theoretische functie in zoverre wel eens achter, dat het als enigszins overbodig wordt gevoeld, wanneer de voorafgaande redenering zeer overtuigend lijkt en dat het dan òf een zuiver gedachten-experiment blijft òf wel wordt beschreven, maar niet uitgevoerd. ‘Ik heb er een proef over gedaan, maar daarvóór had de natuurlijke rede (*il natural discorso*) mij heel vast overtuigd, dat het verschijnsel zou moeten verlopen zoals het ook inderdaad verliep’[12]. En in den *Dialogo* doet zich de slechts bij oppervlakkige kennis van Aristoteles en Galilei verrassende, situatie voor, dat de peripateticus Simplicio er erg op aandringt, een bewering van Salviati op de proef te stellen en dat de laatste, Platonicus als hij is, dit als volkomen overbodig afwijst; hij weet ook zo wel, hoe het gaan zal[13].

100. Wij hebben Galilei de fundamenten zien leggen voor zijn kinematische theorie van de valbeweging in de verticaal of op hellende vlakken, maar moeten ons thans het genoegen ontzeggen, hem bij den verderen opbouw op den voet te volgen. Deden we het, dan zouden we het schitterende mathematische vernuft kunnen bewonderen, dat den Derden en den Vierden Dag van de *Discorsi* tot een der grote meesterwerken van de zeventiende eeuw stempelt, te indrukwekkender omdat hier een terrein betreden werd, waarop in de Oudheid - tot dusver nog steeds ongeevenaard voorbeeld - niets gedaan was en waarbij dus alles van den grond af moest worden opgebouwd. Echter zouden we geen gezichtspunten geopend zien die voor de verdere ontwikkeling der natuurwetenschap van principieel belang zijn. Wanneer de theoretische mechanica eenmaal aan de beschouwing van de natuurlijke verschijnselen van rust en beweging haar axiomata ontleend heeft - we hebben reeds gezien, en zullen nog verder zien, dat dit een moeizaam verlopend proces is - verruilt ze het

kamp der physica voor dat der mathesis. Door uitschakeling van alle storende invloeden vergaand idealiserend en door vereenvoudiging van de situatie (b.v. door alle verticalen parallel te denken en lichamen als stoffelijke punten te beschouwen) even sterk schematiserend, groeit ze uit tot een autonome wetenschap, die ver van de physische realiteit afstaat. Dat sluit niet uit, dat zij aan de physica van haar eigen begripsvorming uit nog belangrijke diensten kan bewijzen, maar wel in, dat zij ook de neiging vertoont, zich in zuiver mathematische vraagstukken te verdiepen, die alle contact met de ervaarbare wereld verloren hebben. Zo was het in de zeventiende eeuw en zo is het nu nog.

101. Twee opmerkingen over het op den Derden Dag behandelde mogen hier echter een plaats vinden. Galilei slaagt er thans in, de boven reeds vermelde koordenwet zuiver kinematisch te bewijzen en gaat daarna over tot vergelijking van de valtijden langs een in een cirkelboog van 90° beschreven regelmatig gebroken lijnstuk *AC... B*

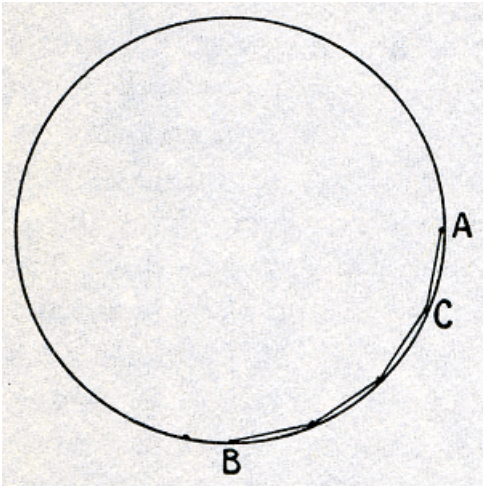


Fig. 32. De valtijd van *A* naar *B* langs de zijden van het in boog *AB* beschreven regelmatig gebroken lijnstuk is des te kleiner, naarmate het aantal zijden groter is. Eerste optreden van het probleem van de lijn van kortsten valtijd (brachistochrone). Galilei, *Discorsi* III 36 (*Opere* VIII 263).

(Fig. 32). Hij kan nu aantonen, dat de valtijd van *A* naar *B* des te kleiner wordt, naarmate het aantal stukken van dit gebroken lijnstuk toeneemt. Bij de formulering van de propositie had hij echter gezegd, dat de snelste beweging van *A* naar *B* plaats vindt langs den cirkelboog *AC* en die conclusie wordt natuurlijk door het verkregen resultaat niet gerechtvaardigd. Echter was hiermee de aandacht der wiskundigen gevestigd op het probleem van de lijn van kortsten valtijd (brachistochrone) tussen twee gegeven punten, dat later door Johannes Bernoulli zou worden opgelost.

102. De tweede opmerking heeft betrekking op een propositie waarin Galilei aantoont of liever aannemelijk maakt, dat wanneer een stoffelijk punt, na over een hellend vlak van *A* tot *B* gevallen te zijn

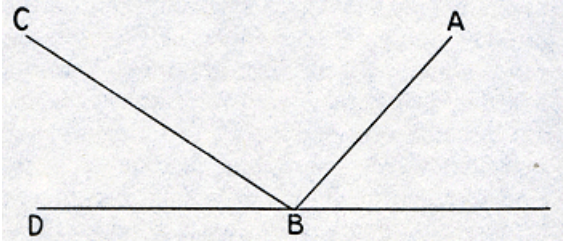


Fig. 33. Een stoffelijk punt dat uit rust in *A* langs *AB* valt en met de verkregen snelheid als beginsnelheid opstijgt langs *BC*, bereikt hierop een punt C dat evenhoog ligt als *A*.

(Fig. 33), met de verkregen snelheid als beginsnelheid langs een ander hellend vlak omhooggaat, het daarop juist een punt *C* zal bereiken, dat even hoog ligt als *A*. De Galilei-

mythe beweert nu in aansluiting aan E. Mach[14] met grote vasthoudendheid, dat Galilei zich nu het vlak *BC* draaibaar om *B* heeft gedacht en het heeft laten naderen tot het horizontale vlak *BD*. Steeds moet het stoffelijk punt zich dan zolang bewegen, tot het weer de hoogte van *A* bereikt heeft en aangezien dat op het horizontale vlak nooit gebeurt, zal het zich hierop met de door den val van *A* naar *B* verkregen snelheid zonder ooit op te houden eenparig voortbewegen. Op deze wijze zou Galilei de traagheidswet hebben afgeleid. Van deze redenering is echter in den tekst geen spoor aan te treffen en we zullen dadelijk zien, dat Galilei haar ook nooit zou hebben kunnen houden.

Nu wordt echter als argument in het bewijs, dat het uiterste punt *C* van de baan even hoog ligt als het beginpunt *A* gebruik gemaakt van de stelling, 'dat de snelheidsgraad, die in een zich bewegend lichaam wordt aangetroffen, daarin door haar natuur onvernietigbaar is ingeprent, wanneer uitwendige oorzaken van versnelling of vertraging worden weggenomen, hetgeen alleen op een horizontaal vlak het geval is... waaruit eveneens volgt, dat de beweging op een horizontaal vlak ook eeuwig is'[15]. Hier schijnt de traagheidswet weliswaar niet bewezen te worden (wat ook helemaal niet kan), maar toch in zo ondubbelzinnige klaarheid uitgesproken, dat er geen twijfel aan mogelijk schijnt, of men haar wel terecht het Galileïsch traagheidsbeginsel noemt.

103. Dat wij hier dien twijfel niettemin gaan uitspreken en motiveren, kan bij oppervlakkige beschouwing wellicht een voor het doel van dit boek overbodige uitweiding lijken, zoals de gehele veelbesproken kwestie, of Galilei zelf het volledige traagheidsinzicht heeft bezeten of het alleen zo ver heeft voorbereid, dat het zijn opvolgers weinig moeite meer kostte om het te verwerven, meer een twistpunt voor Galilei-kenners schijnt te zijn dan een aangelegenheid die voor de grote lijn der wetenschapsgeschiedenis belang zou hebben. Maar het ene is al even onjuist als het andere. De verandering in de opvatting van traagheid vormt mèt de wijziging in de beantwoording van de vraag, welke de uitwerking is van een constante kracht die op een stoffelijk punt werkt, wellicht het allerbelangrijkste element in den overgang van antiek-middeleeuwse naar klassieke natuurwetenschap, die het thema van dit boek vormt en de traagheidswet betekent voor het nieuwe wereldbeeld geen detailpunt, maar een fundament dat aan de meest essentiële delen van het stelsel ten grondslag ligt.

Dat die verandering voor het allergrootste deel door Galilei tot stand is gebracht, staat buiten discussie; dat men geen beter inzicht in de ontwikkeling ervan kan verkrijgen dan door zijn werken te bestuderen, eveneens; maar dan moet het ook duidelijk zijn, dat beperkingen, onzekerheden, inconsequenties die men in zijn redeneringen kan vaststellen, een grote symptomatische betekenis krijgen voor de moeilijkheden die bij het verwerven van het volledige traagheidsinzicht overwonnen moesten worden.

104. Wij vermelden eerst de formulering van de traagheidswet, zoals ze, aan het eind van de ontwikkeling die ons bezig houdt, door Newton zal worden gegeven:

> *Ieder lichaam volhardt in den toestand van rust of rechtlijnige eenparige beweging, behalve voorzover het door uitwendige krachten gedwongen wordt, dien toestand te wijzigen*.

Deze formulering voldoet natuurlijk allerminst aan hedendaagse eisen van exactheid; de term eenparige beweging, voor een lichaam gebruikt, is niet voldoende bepaald; men zou willen weten, hoe een kracht gedefinieerd is en ten opzichte van welke coördinatenstelsels de beweging rechtlijnig en eenparig is. Een laat-zeventiende-eeuws physicus kan de bewering echter volkomen begrijpelijk hebben gevonden. Wanneer hij alle stoffelijke lichamen uit de ruimte wegdacht, hield hij een oneindig groot leeg reservoir over; wanneer nu God in die ruimte eens een enkel stoffelijk punt bracht, er een stoot aan gaf en het nu verder aan zijn lot overliet, zou dit ten eeuwigen dage rechtlijnig door die lege ruimte voortgaan, d.w.z. voortdurend met andere op één rechte gelegen punten daarvan samenvallen. De mededeling, dat een twintigste-eeuwse vakgenoot wellicht de meerderheid der gebruikte termen zinledig zou noemen, zou hem weinig gedeerd hebben, omdat hij er wel een zin aan hechtte.

105. Dit zal dus het eindpunt van de ontwikkeling zijn; bij Galilei staan we aan het begin. In hoeverre kan men de geschetste voorstelling bij hem reeds aanwezig achten?

Is één essentieel opzicht zeker al niet. Galilei, hoe revolutionnair gezind hij ten aanzien van talrijke overgeleverde denkbeelden ook geweest moge zijn, is altijd blijven vasthouden aan het antieke kosmos-begrip, dat eindigheid van de wereld impliceert. Met Copernicus en Kepler ziet hij het heelal nog steeds zoals Plato, Aristoteles en de middeleeuwers het hadden gezien: als een bol met een eindigen straal. Zij dachten dien straal veel groter dan hun voorgangers hadden gedaan en in of bij het middelpunt stond niet langer de aarde, maar de zon; maar daar de afmetingen van de aardbaan wegens het ontbreken van een jaarlijkse parallax van de vaste sterren toch verwaarloosd moesten worden ten opzichte van den straal der sterrenspheer had de overgang van het geocentrische op het heliocentrische standpunt voor de visie op het geheel niet veel te betekenen. In dit eindige heelal was echter de gedachte aan een eeuwigdurende rechtlijnige beweging uitgesloten en reeds hierom zou Galilei de traagheids-opvatting der klassieke physica niet hebben kunnen aanvaarden.

Hij spreekt dit door Salviati's mond op den Eersten Dag van den *Dialogo* ondubbelzinnig uit[16]. Juist heeft deze gezegd, dat hij in een opzicht volkomen met Aristoteles instemt:

> dat namelijk de wereld een lichaam is, voorzien van alle dimensies en daardoor allervolmaaktst; en ik voeg er aan toe, dat zij als zodanig allergeordendst

> moet zijn, d.w.z. moet bestaan uit delen die in de hoogste en volmaaktste orde geschikt zijn...

en gaat dan voort:

> Na vaststelling van een dergelijk beginsel kan men onmiddellijk besluiten, dat waar de grote wereldlichamen van nature beweeglijk moeten zijn, hun bewegingen onmogelijk rechtlijnig of anders dan cirkelvormig kunnen zijn; de reden is heel eenvoudig en duidelijk: immers wat zich rechtlijnig beweegt, verandert van plaats en wanneer het voortgaat, zich te bewegen, verwijdert het zich hoe langer hoe verder van het uitgangspunt en van alle plaatsen die het achtereenvolgens passeert. En indien het zulk een beweging van nature bezat, zou het van den aanvang af niet op zijn natuurlijke plaats zijn en dus zouden de delen der wereld niet in volmaakte orde geschikt zijn. Daar bovendien de rechtlijnige beweging naar haar natuur oneindig is... kan geen beweeglijk lichaam van nature het principe bezitten, zich rechtlijnig daarheen te bewegen, waar het onmogelijk komen kan.

Een eeuwigdurende rechtlijnige beweging, zoals de Atomisten die altijd zo gemakkelijk hadden aangenomen, behoort voor Galilei dus helemaal niet tot de natuurlijke mogelijkheden. De eeuwigdurende cirkelbeweging der hemellichamen beheerst zijn wereldbeeld nog even sterk als het dat der Grieken gedaan had; cirkelbeweging is de natuurlijke beweging bij uitnemendheid en wanneer er sprake mocht zijn van een tendentie tot volharding in een bewegingstoestand, dan komt daarvoor in de eerste plaats een cirkelvormige beweging in aanmerking.

106. Dit geldt volstrekt niet alleen voor de hemellichamen. Op den Tweeden Dag van den *Dialogo*[17] wordt gesproken over het gedrag van een volkomen harden en gladden bol, die op een volkomen hard en glad vlak wordt neergelegd, terwijl de luchtweerstand en andere uitwendige belemmeringen worden weggedacht. Wat zal de bol doen? Men wordt het er spoedig over eens, dat zij in beweging zal komen, wanneer het vlak helt en in rust zal blijven, wanneer het horizontaal is. Daarna onderstelt Salviati, dat er in het laatste geval een impetus aan zou worden gegeven en hij laat Simplicio toegeven, dat, aangezien er geen oorzaken van versnelling of vertraging zijn zoals op gladde hellende vlakken, de meegedeelde snelheid niet kan veranderen en het punt dus ten eeuwigen dage in beweging zal moeten blijven. Waaruit bestaat nu echter de oorzaak van versnelling of vertraging op een hellend vlak? Uit de verandering van den afstand tot het centrum waar alle zware lichamen naar toe streven. Op een vlak waarop de snelheid niet verandert, mag dus ook die afstand niet veranderen. Zulk een vlak is een boloppervlak om het aardcentrum als middelpunt.

Het aardoppervlak zou er een voorbeeld van zijn, wanneer het van al zijn oneffenheden bevrijd zou kunnen worden; een rustend wateroppervlak benadert het nog beter. Op dergelijke boloppervlakken zou dus een lichaam dat eenmaal in beweging was gebracht, bij afwezigheid van

storingen met onveranderde snelheid in beweging blijven. Op een glad plat vlak echter dat aan het aardoppervlak raakt, zou de snelheid noodzakelijk afnemen; immers als het lichaam zich van het raakpunt af beweegt, neemt de afstand tot het aardcentrum toe. Men ziet, dat ten aanzien van Galilei's terminologie voorzichtigheid geboden is: een horizontaal vlak is een boloppervlak om het aardcentrum als middelpunt en een raakvlak aan zulk een vlak is een hellend vlak. Maar het is tevens duidelijk, hoe gemakkelijk het zijn opvolgers moest vallen om in zijn uitlatingen over een tendentie tot volharden in een eenmaal verworven bewegingstoestand slechts aan rechtlijnige bewegingen te denken.

107. Galilei's opvatting van traagheid als een streven naar volharding in cirkelvormige beweging hangt ten nauwste samen met zijn Copernicaanse overtuiging. Evenals Copernicus zelf moest hij het argument tegen de aswenteling der aarde weerleggen dat er zich op beriep, dat aan zware lichamen van nature wel de verticale valbeweging naar het centrum eigen is, maar niet een cirkelvormige beweging om de aardas. En met Copernicus stelt hij daartegenover, dat de laatste beweging even natuurlijk is als de eerste, dat aan de delen der aarde door de natuur niet alleen een streven is ingeplant om naar het centrum toe te vallen, maar ook om in 24 uur Oostwaarts om haar as te draaien. Laat men op enigen afstand boven de aarde een steen los, dan volgt deze de beide tendenties. Van een punt van het aardoppervlak uit, dat zelf immers aan de wenteling deelneemt, merken we echter van de ontstane cirkelbeweging niets en het lijkt dus, of de steen alleen verticaal omlaag valt.

108. De gehele beschouwing vormt een merkwaardige illustratie van de wonderlijke wijze, waarop in Galilei's denken oude en nieuwe voorstellingen met elkander vermengd zijn. Hoewel hij al jong heftig polemiseert tegen de Aristotelische onderscheiding van natuurlijke en gedwongen bewegingen, blijft hij zelf tot aan het eind van zijn leven ook zulk een onderscheiding maken en hij wijkt alleen in zoverre van den Stagiriet af, dat hij aan eenzelfde lichaam twee verschillende natuurlijke bewegingen toekent. Maar door dat laatste te doen, spreekt hij tevens het belangrijke beginsel der klassieke mechanica uit, dat een stoffelijk punt deel kan nemen aan verschillende bewegingen, zonder dat deze elkaar storen, en door de wijze, waarop hij het vallen van den steen op de draaiende aarde behandelt, maakt hij duidelijk, dat de baan die een bewegend punt doorloopt, afhankelijk is van de omgeving, ten opzichte waarvan men de beweging beschouwt.

109. Natuurlijk ligt de vraag voor de hand, hoe de baan van een vallend stoffelijk punt zich voor zou doen aan een waarnemer buiten de aarde, die het gecombineerde effect van de beide bewegingstendenties zou kunnen waarnemen. Laat hiertoe in fig. 34 de cirkel door *A* den aardaequator voorstellen en *AB* een toren, uit den top waarvan men een lichaam laat vallen. Door een uiteraard weinig overtuigende redenering komt Galilei in

den *Dialogo*[18] tot de verrassende gevolgtrekking, dat de resulterende baan een cirkel is met middellijn *BM*, waarlangs het punt dus, indien de aarde het doorliet, het middelpunt *M* zou bereiken. Van de aarde uit gezien is het vallend punt achtereenvolgens in a_1, b_1, c_1, enz., waarbij het Galilei schijnt te ontgaan, dat dit toch niet kan kloppen met de valwet. Hij vindt in zijn uitkomst nog eens aanleiding, de suprematie van de cirkelvormige beweging boven alle andere te betogen: de natuur doet alles langs cirkels. Dit strookt echter weer helemaal niet met den spot, dien Galilei zich elders veroorlooft over het rangverschil tussen figuren, dat de peripatetische philosophie placht te maken[19].

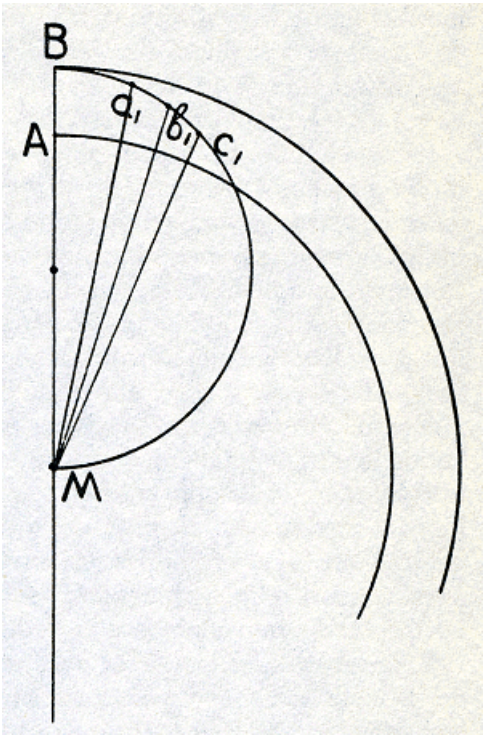


Fig. 34. Valbeweging op de draaiende aarde. Een stoffelijk punt, dat uit den top van den toren *AB* valt, beweegt zich voortdurend over den cirkel met middellijn *BM* (*M*: aardcentrum). Van de draaiende aarde uit gezien, is het achtereenvolgens in a_1, b_1, c_1 enz. Galilei, *Dialogo* II (*Opere* VII 191).

Er zijn inderdaad, zoals we reeds opmerkten (IV: 77), verscheidene Galilei's en de lectuur van den *Dialogo* wordt er speciaal door bemoeilijkt, dat ze daar soms door elkaar heen praten. Een ding zal echter wel duidelijk zijn geworden: van het traag-heidsinzicht dat in de eerste wet van Newton geformuleerd is, is in de beschouwingen die we tot dusver hebben leren kennen, geen sprake.

110. De lectuur van de *Discorsi* schijnt echter tot een gans andere conclusie te voeren. In de boven besproken propositie wordt uitdrukkelijk over het voortduren van een eenparige rechtlijnige beweging op een plat vlak gesproken en op den Vierden Dag wordt het bewijs, dat de kogelbaan den vorm van een parabool heeft, geleverd door de horizontale rechtlijnige beweging, die het projectiel op een plat horizontaal vlak zou hebben, samen te stellen met de verticaal omlaag gerichte, die door de zwaarte teweeg wordt gebracht.

Wanneer echter Simplicio er Salviati even later aan herinnert, dat een horizontaal vlak toch een boloppervlak om het aardcentrum als middelpunt is en dus niet plat, geeft deze toe, dat dat natuurlijk zo is, maar dat hij het bij benadering als een plat vlak beschouwt, omdat over de betrekkelijk kleine afstanden, waarom het bij het

voortschieten van kogels gaat, het verschil toch niet van belang is. Dat is ongetwijfeld waar. Maar

van een eeuwig voortdurende horizontale rechtlijnige beweging mag dan niet meer gesproken worden; deze zou pas bestaan als over willekeurig grote afstanden de zwaarte constant in richting bleef, maar dan zou de aarde zich tot in het oneindige moeten uitstrekken, wat in strijd zou zijn met het ganse wereldbeeld. De situatie is nu dus deze geworden: volgens de eigenlijke traagheidswet van Galilei volhardt een stoffelijk punt, dat aan uitwendige invloeden onttrokken is (men merke op, dat de zwaarte daar niet toe hoort) in een cirkelvormige beweging om het aardcentrum als middelpunt. Over kleine afstanden wordt deze beweging als een rechtlijnige beschouwd; hierna wordt de beperking tot kleine afstanden vergeten en wordt gezegd, dat het punt op een horizontaal plat vlak zijn rechtlijnige beweging onbeperkt zou voortzetten, wanneer er geen uitwendige storingen optraden. Zo groeit uit wat men de circulaire traagheidsopvatting van Galilei zou kunnen noemen geleidelijk het inzicht, dat in de eerste wet van Newton zijn formulering zou vinden.

111. Alle onzekerheden die er in Galilei's traagheidsbegrip overblijven mogen nooit doen vergeten, dat er niemand is geweest, die zo zeer als hij het inzicht in de tendentie van een bewegend lichaam om in zijn beweging te volharden, heeft opgewekt en bevorderd. Door de uitvoerige en duidelijke uiteenzettingen die hij vooral in den *Dialogo* aan inertieverschijnselen wijdt, heeft hij eigenlijk pas het intuïtief begrijpen van zulke verschijnselen tot ontwikkeling gebracht. Hij schenkt zijn lezers een soort inertiaalgevoel, dat de Ouden nooit bezeten hadden en dat ook Kepler nog geheel mist.

Voordat we hier iets meer over zeggen, moge nog worden opgemerkt, dat het, wanneer men over traagheid spreekt, bijna niet mogelijk is, zich te onthouden van termen die den indruk weideen, alsof in een bewegend lichaam een soort inwendige motor huist, die het voortdrijft. Men kan theoretisch wel de opvatting huldigen, dat rechtlijnige eenparige beweging (die rust heet, als de snelheid nul is) als het ware de natuurlijke toestand van een stoffelijk punt is en dat men dus alleen naar een oorzaak behoeft te vragen, wanneer er in de richting of de grootte van de snelheid iets verandert, maar er zit in iedereen nog wel zoveel van den ouden Aristotelischen Adam, dat hij in zijn hart toch altijd nog het axioma: ‘alles wat in beweging verkeert, wordt door iets anders bewogen’ huldigt en dus onwillekeurig blijft vragen, hoe het komt, dat de beweging niet plotseling ophoudt, wanneer de uitwendige motor zijn werk staakt. Waarom valt iemand, die zonder meer van een rijdende tram afstapt en waarom staat een fietser niet dadelijk stil, als hij ophoudt met trappen? Omdat hij in beide gevallen vaart had. En die vaart wordt nu als een soort kracht gedacht, die niets anders is dan de Vis Inertiae of traagheidskracht, die bij Newton als oorzaak wordt genoemd, dat een aan uitwendige invloeden onttrokken lichaam rechtlijnig eenparig voort blijft gaan en ook niets anders dan de Impetus van de Parijse Terministen. Zo vallen wij, over traagheidsverschijnselen sprekend, onwillekeurig terug in de uitdrukkings-

wijze en daardoor ook min of meer in de denkwijze van de veertiende-eeuwse scholastici. En bij Galilei kan men van een terugvallen eigenlijk helemaal niet spreken, omdat zijn dynamisch denken altijd in de spheer van de impetustheorie is blijven verlopen.

112. Dat traagheidsverschijnselen zulk een overheersende plaats in sommige van Galilei's werken innemen, hangt samen met de betekenis die zij in den strijd om de leer van Copernicus bezaten. Alle van ouds bekende of in de zestiende eeuw nieuw aangevoerde argumenten tegen een aard-beweging berusten immers op gemis aan traagheidsinzicht: wolken en vogels moeten altijd Westwaarts schijnen te gaan; een steen, die van den top van een toren valt, Westelijk van den voet op den grond komen, juist zoals een voorwerp, dat men op een varend schip uit den masttop laat vallen, zo ver van den voet af op het dek neerkomt, als het schip tijdens den val zich verplaatst heeft. Een verticaal omhoog geschoten kogel komt ook Westelijk van het uitgangspunt terug. Met een kanon kan men verder naar het Westen schieten (de aarde tegemoet) dan naar het Oosten. Galilei kan zijn polemische en didactische hart ophalen aan een weerlegging van al deze argumenten. Hij doet het op den Tweeden Dag van den *Dialogo* met grote uitvoerigheid en vindt daarbij gelegenheid, in het voorbijgaan nog enkele andere fundamentele beginselen der nieuwere mechanica uiteen te zetten.

113. Het is zeer opmerkelijk, dat Salviati aanvankelijk[20] de analogie tussen het vallen van een steen uit een torentop op de bewegende aarde en uit den masttop op een varend schip volstrekt ontkent en wel op grond van het onderscheid tussen het natuurlijke van de aswenteling der aarde en het gedwongenevande beweging van het schip. De steen die van den toren valt, bezit de natuurlijke tendentie mee te wentelen om de aardas en wijkt daardoor tijdens den val niet van den toren af. Zodra echter de steen op het schip los is gelaten, volgt hij alleen nog maar zijn natuurlijke tendentie en komt dus niet aan den voet van den mast neer. Een andere Salviati betoogt even later echter, dat hij dit wel doet: de beweging van het schip heeft aan den steen ook nog een tendentie ingeprent, in de cirkelvormige beweging van den masttop te blijven volharden en nu blijkt er toch wel analogie te bestaan met den val op de draaiende aarde.

114. Het is op deze plaats[21], dat wij boven (IV: 99) zinspeelden bij de behandeling van de betekenis die Galilei aan het experiment toekent. Salviati maakt er Simplicio eerst een ernstig verwijt van, dat hij de bewering, dat de steen niet aan den voet van den mast zal neerkomen, napraat zonder het ooit te hebben waargenomen, maar wanneer er dan gevraagd wordt, of hij zelf experimenteel heeft gecontroleerd, dat dit wel het geval is, antwoordt hij, dat dat helemaal niet nodig is, want dat hij wel kan beredeneren, wat er gebeuren zal. Dat kon Simplicio echter ook. Voor hen die in de mythe van den vóór alles experimenteel ingestelden Galilei geloven, is dit een enigszins pijnlijke plaats. Het is waar, dat hij in een

brief aan Ingoli[22] zegt, dat hij wel valproeven op varende schepen gedaan heeft, maar hij deelt geen bijzonderheden mee en doet er in geen enkel werk verslag van. Het zou tot 1640 moeten duren, voordat het controlerende experiment door Gassend werkelijk werd uitgevoerd.

115. Een van de algemene beginselen der mechanica die Galilei bij deze gelegenheid uiteenzet, is het boven reeds vermelde principe van de superpositie van bewegingen. Volgens de peripatetische physica is er altijd strijd tussen de verschillende bewegingsimpulsen. We zagen reeds (III: 50, 58) dat men in de zestiende eeuw algemeen aannam, dat in de beweging van een voortgeschoten projectiel de eerste phase rechtlijnig is, omdat dan de impetus de zwaarte overheerst en dus ook geheel uitschakelt en de derde eveneens, omdat dan de impetus geheel verdwenen is, terwijl de tweede het product is niet zozeer van hun samenwerking als wel van hun conflict. Galilei laat daartegen zien, dat de verschillende bewegingen onafhankelijk van elkaar verlopen en dat wat we zien hun resultante, de vrucht van hun samenwerking, is. Het was een inzicht dat de astronomen natuurlijk altijd wel bezeten hadden, maar ook in de zeventiende eeuw was de afstand tussen aardse en hemelse verschijnselen nog wel zo groot, dat men niet al te gemakkelijk op de ene groep toepaste, wat voor de andere geldig was bevonden. Sagredo trekt uit het superpositie- of onafhankelijk-heidsprincipe nog de conclusie, dat wanneer men van den top van een toren af een projectiel horizontaal voortschiet en er tegelijkertijd een naar beneden laat vallen, zij gelijktijdig den grond zullen bereiken. Deze bewering is later door de Accademia del Cimento (IV: 193) experimenteel gecontroleerd.

116. Het gaat hier om verschijnselen die tegenwoordig in dien zin van het woord elementair zijn, dat zij stof vormen voor onderwijs in de beginselen der mechanica; wat niet weg neemt, dat ze voor beginnelingen altijd weer paradoxaal en moeilijk blijken; voor Galilei's tijdgenoten waren ze dat in niet mindere mate en hij vindt het dan ook nodig, ze in telkens nieuwe varianten uit te leggen. Zo stelt hij zich[23] een rijdenden wagen voor, waaraan aan den buitenkant een hellend vlak bevestigd is, waar men een kogel af kan laten rollen. Helt het vlak in de richting van de beweging van den wagen, dan zal de kogel, den grond bereikend, voor den wagen uitrollen; helt het den anderen kant uit, dan zal het kunnen gebeuren, dat hij op den grond stil blijft liggen of zelfs terugrolt. Al dergelijke proeven worden als mogelijkheden beschreven, maar ze zijn blijkbaar nooit uitgevoerd.

117. Door herhaalde beschouwingen over het verschil in de banen die eenzelfde bewegend punt voor verschillende waarnemers beschrijft, draagt Galilei ook sterk bij tot de ontwikkeling van het inzicht in het relatieve karakter van het bewegingsbegrip. Dat sluit echter de overtuiging dat er een absolute beweging bestaat, geenszins uit. Galilei gebruikt deze termen weliswaar niet, hij zegt ook niet telkens, ten opzichte van welke

omgeving hij een beweging beschouwt. Wanneer men zich echter van al deze termen wel bedient voor het weergeven van zijn denkbeelden, kan men zeggen, dat hij een beweging ten opzichte van een assenstelsel, waarvan de oorsprong in de zon ligt en de assen naar drie vaste sterren wijzen, als de ware beweging beschouwt en dat hij in dien zin de aardbeweging voor werkelijk houdt.

Een belangrijk element in zijn verdediging van de physische realiteit van deze beweging vormt het beginsel, dat bewegingsverschijnselen die een stelsel lichamen ten opzichte van elkaar vertonen, niet veranderen, wanneer men het gehele stelsel aan een gemeenschappelijke beweging onderwerpt. Het is duidelijk, welk een essentiële betekenis voor het bereiken van zijn doel aan dit beginsel toekomt. Van de aardbeweging die hij aannam, was in zijn tijd door waarnemingen op aarde niets te bespeuren. Hij kon zich dus niet beroepen op positieve physische argumenten waaruit haar bestaan zou kunnen blijken, maar moest zich beperken tot een weerlegging van de physische bezwaren die er tegen werden aangevoerd, en wel in de allereerste plaats tegen de voor de hand liggende tegenwerping, dat wij, als de aarde werkelijk draaide, daarvan op een of andere manier wel iets zouden moeten merken. Daartoe poneert hij de algemene stelling, dat een beweging die aan alle lichamen van een zeker stelsel gemeenschappelijk is, op het onderlinge gedrag dier lichamen zonder enigen invloed blijft en dus door waarnemingen in dit stelsel nooit zal kunnen worden aangetoond.

118. Wanneer men datgene Galileïsch noemt, wat aan Galilei eigen is en er niet een etiket van maakt om er stellingen uit de klassieke physica mee aan te duiden, moet men deze bewering het Galileïsch relativiteits-principe noemen. In werkelijkheid gebruikt men dezen term voor een veel beperkter beginsel, waarin gezegd wordt, dat de bedoelde bewegingsverschijnselen zich op dezelfde wijze blijven afspelen, wanneer het stelsel als geheel een eenparige rechtlijnige translatie verkrijgt.

Het ruimere, echt-Galileïsche principe is onjuist, het beperktere, dat men Galileïsch noemt, juist. De bewegingsverschijnselen in een kamer zullen niet veranderen, als men haar in eenparige rechtlijnige translatie brengt, maar wel degelijk, wanneer die translatie versneld of kromlijnig is of als men de kamer om een as laat wentelen. Het is echter wel duidelijk, dat Galilei zich met het beperkte relativiteitsprincipe nooit tevreden zou hebben kunnen stellen: het was er hem immers om te doen, de onwaarneembaarheid van een gemeenschappelijke rotatie aan te tonen. Er doet zich nu echter iets soortgelijks voor als bij het traagheidsbeginsel: de toepassingen die hij van het relativiteitsprincipe maakt, hebben voor het allergrootste deel betrekking op kortstondige bewegingen over kleinen afstand en in dat geval kan men de beweging van het gedeelte van het aardoppervlak waarop zij zich afspelen, bij benadering wel als een eenparige rechtlijnige translatie beschouwen. Daardoor werken zijn beschouwingen op

het stuk van relativiteit ondanks de onjuistheid van den theoretischen grondslag practisch even verhelderend als zij dat op het gebied van de traagheidsverschijnselen hadden gedaan.

119. Hij weerlegt er o.m. het door Tycho aangevoerde argument van het verschil in schootsverheid in Westelijke en Oostelijke richting mee en licht zijn redenering toe door te onderstellen, dat van een rijdenden wagen af met een stuk geschut eerst in de bewegingsrichting zou worden geschoten en daarna er tegen in. In beide gevallen zal het projectiel bij het neerkomen op den grond even ver verwijderd zijn van het punt, waar de wagen op datzelfde ogenblik is.

We kunnen aan dit geval het onderscheid tussen de Aristotelische en de klassieke mechanica bijzonder duidelijk laten zien en plaatsen daartoe de beide redeneringen naast elkaar. In de figuren 35a en b, geeft *P* het

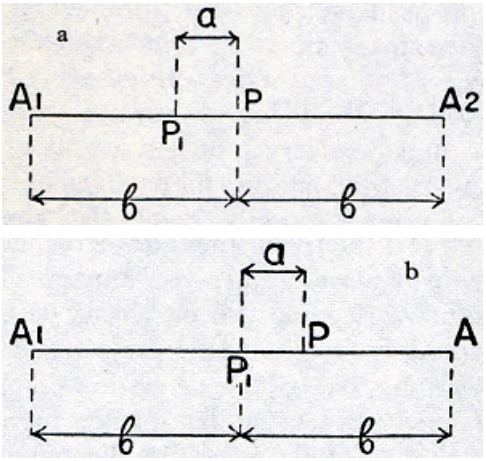


Fig. 35. Bij het meest naar rechts gelegen punt A leze men A_2.

punt aan, waar de wagen zich bevindt op het ogenblik, waarop de twee projectielen worden afgevuurd, P_1 het punt, waar hij bij het neerkomen van die projectielen is. De wagen beweegt zich met een snelheid *v* naar links; de projectielen krijgen een snelheid *V*; de tijd tussen afschieten en neerkomen bedraagt *t*. De projectielen treffen den grond opv. in A_1 en A_2. Dan geldt:

VOLGENS DE ARISTOTELISCHE MECHANICA	**VOLGENS DE KLASSIEKE MECHANICA**
Als de projectielen den wagen verlaten hebben, gaan ze elk met de hun meegedeelde snelheid *V* voort en leggen in een tijd *t* de wegen PA_1 en PA_2 af, die elk $b = Vt$ bedragen. De wagen verplaatst zich intussen over $PP_1 = a = vt$. Bij het neerkomen zijn dus de afstanden tot den wagen: voor het projectiel in de bewegingsrichting: $P_1A_1 = b - a = (V - v)\,t$ voor het andere: $P_1A_2 = b + a = (V + v)\,t$. Op een draaiende aarde zou men rekening moeten houden met de	Het kanon schiet twee projectielen af. De gemeenschappelijke beweging van de projectielen en het kanon stoort het verschijnsel niet. In een tijd *t* leggen ze dus beide ten opzichte van het kanon den weg $b = Vt$ af en bij het neerkomen zijn de afstanden $P_1A_1 = P_1A_2 = Vt$. Dat de proef op een draaiende aarde gedaan wordt, doet niet ter zake; het gehele stelsel krijgt er daardoor nog een gemeenschappelijke beweging bij, maar daarvan is niets te merken.

verplaatsing die de aarde tijdens het schieten ondergaat. Bedraagt deze *ct*, dan zullen de trefpunten A_1 en A_2 over een afstand *ct* Westwaarts verschoven moeten worden. Het zou dus kunnen gebeuren, dat A_2 Westelijk van P_1 ligt, dus dat een Oostwaarts afgeschoten projectiel Westelijk van het uitgangspunt neerkomt. Dit illustreert nog eens duidelijk, hoe onhoudbaar het denkbeeld van een aardbeweging is.

Er wordt opnieuw door geen van beide partijen aan gedacht, hetzij deze proef, hetzij die met het kanon op de draaiende aarde werkelijk te nemen.

120. Legt in gevallen als deze de te ruime formulering van het relativiteitsprincipe geen gewicht in de schaal, in andere verleidt het Galilei tot foutieve beweringen. Hij moet zich verweren[24] tegen het argument, dat een draaiende aarde de voorwerpen aan haar oppervlak weg zou moeten slingeren, zoals een wentelend wiel het waterdruppels op haar rand doet: gebouwen zouden vernield worden, stenen, dieren en mensen hemelwaarts geslingerd. Salviati drijft eerst den spot met deze redenering, waarin het wordt voorgesteld, als of een aarde, waarop al deze dingen eerst wel een rustige plaats hadden kunnen vinden, plotseling in draaiing was gebracht en hij formuleert het argument dus liever zo, dat op een draaiende aarde nooit gebouwen opgericht zouden hebben kunnen worden en niets een vast verblijf zou hebben kunnen vinden. Dat is natuurlijk een zeer reëel argument, omdat, zoals we thans weten, er inderdaad een omwentelings-snelheid bestaat, waarbij de gravitatie niet in staat zou zijn, de centripetale versnelling die de aardse lichamen voor hun aswenteling behoeven, op te leveren. Men kan het daarom ook niet zonder quantitatieve formulering, alleen door er over te praten, weerleggen. Galilëi tracht dat echter wel te doen; hij betoogt, dat er helemaal geen gevaar voor wegslingeren bestaat en dat dus ook in dit opzicht op een draaiende aarde alles precies zo blijft als het op een stilstaande zou zijn.

Dit is des te merkwaardiger, omdat hij heel goed weet, dat een lichaam dat aan een koord rondgeslingerd wordt, een naar buiten gerichte kracht op dat koord uitoefent en toch ook wel zal hebben kunnen vaststellen, dat bij een gegeven omwentelingssnelheid het lichaam zich losrukt of het koord breekt. Het schijnt echter, dat de contradictie tussen dit feit en wat hij over het ontbreken van hetzelfde effect bij de aardbeweging zegt, hem helemaal niet opvalt. Wellicht oefent de voorstelling van de natuurlijke tendentie van alle aardse lichamen, zich cirkelvormig om de aardas te bewegen, ook hier weer invloed uit, maar dan had hij de vergelijking met het wentelende wiel of den rondgeslingerden steen evengoed als niet ter zake doende bij voorbaat af kunnen wijzen.

Dat de zwaarte onder alle omstandigheden het wegslingeren van aardse lichamen belet, wordt bewezen met tamelijk gecompliceerde beschouwingen over oneindig kleine grootheden, die we hier niet zullen trachten weer te geven. De grondgedachte is, dat de raaklijn aan den aanvankelijk beschreven cirkel dicht bij het raakpunt zo weinig van den cirkel afwijkt, dat de naar het middelpunt strevende zwaarte het lichaam altijd wel kan beletten, langs deze raaklijn voort te vliegen.

121. Het gesprek waarin het bovenstaande behandeld wordt, illustreert nog eens, welk een vreemd conglomeraat van redeneringen die de klassieke mechanica onveranderd zou overnemen en andere die met haar grondbeginselen in strijd zijn, de *Dialogo* telkens weer vertoont. Wanneer namelijk Salviati bij wijze van inleiding over het voortwerpen van een steen met een in het rond gedraaiden slinger spreekt[25], zegt hij, dat de steen de tendentie krijgt, langs de raaklijn van den beschreven cirkel voort te gaan, dat hij dit ook zou doen, wanneer de zwaarte hem niet naar beneden trok en dat de gekromde kogelbaan nu tot stand komt, doordat de beweging langs de raaklijn en de verticale valbeweging samenwerken. Er wordt hier niet gezegd, dat de beginsnelheid horizontaal moet zijn, zoals op den Vierden Dag van de *Discorsi* altijd ondersteld wordt, en er is ook niets, dat er op wijst, dat de rechte, waarlangs het lichaam gedacht wordt voort te gaan, als benadering van een cirkel fungeert. Wanneer niet kort daarvoor en ook weer daarna sprake was van een volharden in een cirkelbeweging om het aardcentrum zou men hier werkelijk een volledig inzicht in de traagheid uitgesproken kunnen achten. Het is op zichzelf al merkwaardig, dat Galilei hier in gedachte het lichaam onttrokken denkt aan de werking van de zwaarte, die hij anders altijd zozeer als een inwendigen, voor de structuur van een stoffelijk lichaam onmisbaren, constituerenden factor beschouwt, dat zij nooit wordt weggedacht. Nooit wordt bij hem het gewicht als een uitwendige op het lichaam werkende kracht opgevat en in verband daarmee is ook van een onderscheiding van massa en gewicht nog geen sprake.

122. Wij besluiten thans de behandeling van Galilei's bijdragen tot de ontwikkeling der mechanica met enkele opmerkingen over twee onderwerpen, die in komende tijden van groot belang zouden blijken te zijn en waarvan de studie bij hem begint. Het zijn de slingerbeweging en de botsing.

Wij zagen boven reeds, hoe hij een proef met een slinger gebruikte ter verificatie van een stelling over valbeweging. Op den Eersten Dag van de *Discorsi*[26] behandelt hij de slingerbeweging als inleiding tot acoustische beschouwingen, en deelt er daarbij twee eigenschappen van mee, namelijk de evenredigheid tussen den slingertijd en den wortel uit de slingerlengte en het isochronisme, d.w.z. de eigenschap, dat de slingertijd niet van de amplitudo afhangt. De eerste (waarvan niet blijkt, hoe hij haar gevonden heeft) is door de latere ontwikkeling der mechanica bevestigd, de tweede

slechts bij benadering voor kleine uitwijkingshoeken. De overtuiging van de exactheid van het isochronisme schijnt volgens een opmerking van Salviati geïnspireerd te zijn geweest door de koordenwet. Wat daarin over den val langs koorden wordt meegedeeld, is blijkbaar op cirkelbogen uitgebreid. Sagredo merkt nog op, dat hij, hoewel hij vaak in kerken naar slingerende kroonluchters heeft gekeken, het isochronisme nooit heeft opgemerkt en dat het hem onmogelijk toeschijnt. Deze opmerking geeft weinig steun aan het bekende verhaal, dat Galilei zelf op jeugdigen leeftijd de eigenschap wèl door waarnemingen in den Dom te Pisa zou hebben ontdekt.

123. Op het belangrijke, maar uiterst moeilijke gebied van de botsing bereikt Galilei geen resultaten van blijvende waarde. Ook heeft hij door de beschouwingen die hij er op den Zesden Dag van de *Discorsi* aan wijdt[27], het onderzoek naar het verschijnsel niet kunnen bevorderen, omdat deze toevoeging aan het in 1637 gepubliceerde werk pas verschenen is in 1718, toen de ontwikkeling der mechanica reeds veel verder was gekomen en ook de botsingswetten reeds bekend waren. Toch blijft het van belang, er kennis van te nemen, al ware het slechts om een indruk te krijgen van de moeilijkheden die bij de ontwarring der botsingsverschijnselen overwonnen moesten worden. Deze kwamen onder meer hieruit voort, dat men aanvankelijk steeds geprobeerd heeft, de stootkrachten die bij de botsing optreden, als het ware te wegen, dus ze te vergelijken met een continu werkende kracht als het gewicht. Die poging moest echter mislukken, daar het hier om grootheden van verschillende dimensies gaat. Het belangrijkste resultaat waartoe Galilei ten slotte komt, staat uitgedrukt in zijn conclusie, dat de kracht van een stoot oneindig groot is, waarmee hij te kennen wil geven, dat de grootte van een continu werkende kracht die, gedurende een zeker tijdvak uitgeoefend, dezelfde uitwerking zou hebben als de stoot, onbegrensd groeit, als men den duur van dat tijdvak tot nul laat naderen.

D. Uit de school van Galilei[28]

124. Galilei's werk op het gebied der Mechanica is voortgezet door verscheidene meest Italiaanse auteurs, die in engeren of ruimeren zin zijn leerlingen mogen heten en waarvan we hier Bonaventura Cavalieri, Giovanni Baliani en Evangelista Torricelli noemen. Een van de dingen die bij de lectuur van hun werken het meest de aandacht trekken, is wel, dat allerlei aarzeling en onzekerheid die we bij Galilei aantroffen, overwonnen blijken te zijn. Het is het bekende verschijnsel van de helderheid der epigonen. De meester, die zich ten koste van een grote denkinspanning heeft weten te ontworstelen aan vroegere dwalingen, blijft, wellicht in zijn denken, maar zeker in zijn spreken, de sporen van die worsteling met zich

omdragen; de leerlingen echter die hij in zijn nieuwe inzichten heeft ingewijd, kunnen, onbezwaard door het verleden, beginnen waar hij eindigde en volkomen helder uitdrukken wat bij hem nog min of meer duister bleef. En zo zien we hier dan ook, zonder dat er veel woorden aan de motivering worden besteed, als evident aangenomen worden, dat de beweging van een in willekeurige richting voortgeschoten projectiel beschouwd kan worden als de resultante van een eenparig rechtlijnige beweging in de richting van de beginsnelheid en een eenparig veranderlijke verticale valbeweging uit rust. Daar het slechts terloops wordt uitgesproken en niet als algemeen beginsel aan de behandeling ten grondslag wordt gelegd, kan men natuurlijk blijven twijfelen, of de draagwijdte van het toegepaste inzicht wel wordt beseft maar men gevoelt niet meer als bij Galilei de onzekerheid, of het inzicht zelf wel ten volle aanwezig is.

125. Bij Baliani trekt het de aandacht, dat hij zich de algemene vraag voorlegt naar de uitwerking van een op een lichaam werkenden constanten motor; de studie van den val begint hier blijkbaar al de functie te vervullen waarop haar grote historische betekenis berust, namelijk aanleiding te geven tot het opstellen van het begrip van kracht als oorzaak van een versnelling en tot de subsumptie van de zwaarte onder het algemene krachtbegrip. Baliani behandelt het probleem volgens de methode die we Buridan (II: 114) en Beeckman (IV: 72) zagen toepassen, namelijk door voor elk tijdvak de beweging ontstaan te denken door samenwerking van den impetus die aan het begin van dat tijdvak aanwezig was en de hernieuwde werking van de zwaarte, die hetzelfde doet alsof de beweging nu pas begon. Echter komt hij nu tot de conclusie, dat de wegen, in opvolgende gelijke tijdvakken afgelegd, zich verhouden als de opvolgende natuurlijke getallen, dezelfde betrekking die we bij Leonardo da Vinci aantroffen (III: 45). Hij meent dus de wet der oneven getallen te moeten verwerpen, merkt echter op, dat daar de in de afleiding gebruikte tijdvakken zeer klein moeten worden gedacht, het verschil tussen deze wet en de zijne onmerkbaar klein zal zijn; inderdaad nadert de laatste tot de eerste, als men den duur van de gebruikte tijdvakken tot nul laat naderen.

Opmerking verdient nog zijn juist inzicht in de dubbelzinnigheid van het begrip impetus, daarin bestaande dat deze enerzijds als symptoom, anderzijds als oorzaak van de beweging wordt beschouwd. In werkelijkheid, merkt hij op, blijft beweging uit zich zelf voortduren, maar gemakshalve (en, kunnen wij er bijvoegen, ter bevrediging van een causale behoefte) blijven we zeggen, dat de impetus het lichaam voortdrijft.

126. Het werk dat Torricelli aan de Mechanica wijdt en dat in zijn titel *De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum* laat zien, hoezeer de verschijnselen van val en worp voorlopig nog de gehele aandacht in beslag nemen, interesseert ons hier niet zozeer om de wijze, waarop hij de theorieën van zijn leermeester aanvult en uitbreidt - een wezenlijke vooruitgang wordt niet bereikt; de grondwet der peripatetische dynamica

blijkt zijn denken nog even sterk te beheersen als ze het dat van Galilei steeds was blijven doen en de dynamische beschouwingen gaan daardoor niet essentieel uit boven het peil, waarop ze reeds bij de Parijse Terministen hadden gestaan - als wel om een principiële uiteenzetting over de positie die de mechanica in het stelsel der wetenschappen ten opzichte van de wiskunde enerzijds en de physica anderzijds inneemt. Hij doet dit naar aanleiding van zekere bezwaren, die sedert het bekend worden van de werken van Archimedes onophoudelijk tegen een tweetal daarin gemaakte onderstellingen waren aangevoerd en die inderdaad de grondslagen der theoretische natuurwetenschap raken.

Het eerste richt zich tegen het werken met geometrische figuren die zwaarte bezitten en aan een balansjuk kunnen worden gehangen, het tweede tegen de onderstelde evenwijdigheid van de lijnen waarlangs de zwaarte dan geacht wordt te werken, terwijl zij toch een streven naar het aardcentrum beduidt. Beide zijn dit essentiële elementen van de Archimedische methode, die niet alleen in het werk *Over evenwichten van vlakke figuren* voor zwaartepuntsbepaling, maar bovendien in de *Quadratuur van de Parabool* (en, naar later blijken zou, in de *Methode*) voor zuiver mathematische doeleinden dienen[29]. Hierdoor nu schenen wiskunde en physica op ongeoorloofde wijze met elkaar vermengd te worden.

127. Tegen beide verwijten verdedigt Torricelli den Grieksen wiskundige, die voor hem, evenals voor Galilei, de ideale wetenschappelijke figuur is, met overtuiging. Met precies hetzelfde recht waarmee een wiskundige aan een figuur een zekere grootheid toekent die hij oppervlakte noemt of een middelpunt definieert, mag hij er ook een gewicht aan toeschrijven, dat dan echter niet als een qualiteit of een vermogen moet worden beschouwd, maar eenvoudig als een met de figuur verbonden dimensie (om Torricelli's eigen uitdrukking te gebruiken), als een daarmee geassocieerde vector (om het in moderne termen te zeggen), waarvan de betekenis door een wiskundige definitie zal worden vastgesteld. Het begrip zwaar lichaam had nooit bezwaren doen rijzen; voor de mechanica is dit echter evengoed een geometrische figuur waaraan een gewicht wordt toegekend. Zij kan lichamen beschouwen die geen gewicht hebben naast lijnen of oppervlakken die zwaar zijn.

Mechanica is nu die tak der wiskunde, waarin men mede gebruik maakt van de dimensie gewicht (later algemener van de begrippen kracht en massa) en van het bewegingsbegrip. Daarmede is het eerste bezwaar opgeheven en het tweede verdwijnt nu vanzelf: men kan natuurlijk de uitwerking van een gewicht mathematisch zo definiëren, dat de werklijnen alle evenwijdig lopen (al dan niet verticaal), Dit laatste kan men bovendien ook physisch gerealiseerd denken door een balans met daaraan hangende gewichten in gedachten verplaatst te denken naar de denkbeeldige ruimten buiten de sterrenspheer, waar ze oneindig ver van het aardcentrum verwijderd is.

Opnieuw zien we hier een leerling onversaagd conclusies trekken die in de woorden en vooral in de daden van den meester impliciet opgesloten lagen, maar die de laatste nooit zo openlijk en onverhuld zou hebben kunnen of durven uitspreken. De tendentie tot een dergelijke mathematisering van de mechanica is bij Galilei duidelijk genoeg aanwezig, maar hij ziet zwaarte toch nog te veel als een inwendig streven van een physisch lichaam, zich naar het aardcentrum te bewegen, om haar te kunnen beschouwen als een per definitie aan een mathematisch lichaam toegekende grootheid en hij is nog te veel bevangen in de voorstelling van den eindigen kosmos, om de heterogene physische ruimte met de homogene oneindige ruimte der meetkunde te identificeren en daarin een balans naar het oneindige te brengen. Er was een zuivere mathematicus als Torricelli voor nodig om voor dergelijke gedachten niet terug te schrikken. Inderdaad is deze over al de remmingen die de mathematisering der physica nog hadden tegengehouden heen en de emancipatie van de leer van bewegingen en krachten tot een rationele mechanica, die zich bij Galilei reeds aankondigde, is bij hem een feit geworden.

128. Natuurlijk rijst nu de vraag naar de relatie, waarin deze mechanica nu eigenlijk nog tot de physische werkelijkheid staat, maar zij vormt niet meer dan een uitbreiding van het probleem, welke functie de wiskunde in het algemeen in de natuurwetenschap te vervullen heeft. Is deze gehele geometrisch-mechanische op axiomata en definities gebaseerde en daardoor exacte ideale vormenwereld een door vèrgaande abstractie verkregen schematisering van de werkelijkheid, waarin tal van wezenlijke bestanddelen zijn te loor gegaan en die dus nooit een betrouwbare en volledige kennis van de natuur zal kunnen schenken? Of is de wereld die wij zintuiglijk ervaren, slechts een gebrekkige en onvokomen afbeelding in de weerbarstige materie van het slechts door het wiskundig denken te vatten ideële rijk der rationele mechanica en moet dit dan ook in eigenlijken zin de werkelijkheid heten? Het is weer de oude tegenstelling, die de gehele geschiedenis van het natuurwetenschappelijk denken vertoont: Aristoteles of Plato.

Aan welken kant Galilei en Torricelli staan, lijdt niet den minsten twijfel. Mèt de concrete Aristotelische natuurwetenschap wordt de Aristotelische visie op de relatie van physica en wiskunde verworpen. In den *Dialogo*[30] herinnert Simplicio er aan, dat Aristoteles aan Plato verweet, dat hij door een te ijverige studie van de wiskunde van de gezonde philosophie was afgeraakt en hij weet van vooraanstaande peripatetische philosophen, dat zij hun leerlingen terughouden van de mathesis, omdat deze den geest spitsvondig maakt en ongeschikt voor het goede philosopheren. Waarop Salviati venijnig opmerkt, dat zij daar gelijk aan hebben ook, omdat er geen wetenschap is die zo onbarmhartig hun sophisterij ontmaskert. Dat tekent al de stemming. En verder laat Galilei geen gelegenheid voorbijgaan, om uiting te geven aan zijn metaphysische overtuiging,

dat de structuur der werkelijkheid essentieel mathematisch van aard is, dat met de mathematische vormen van ons denken een mathematische orde correspondeert die ten grondslag ligt aan de zinlijk ervaarbare werkelijkheid en dat al ons leren een zich weer herinneren is[31].

> De philosophie staat geschreven in dat grote boek dat ons voortdurend open voor ogen ligt, het universum, maar men kan haar niet begrijpen, wanneer men niet de taal leert verstaan en de letters leert kennen, waarin het geschreven is. Het is geschreven in wiskundige taal en de letters zijn driehoeken, cirkels en andere geometrische figuren; zonder deze middelen is het menselijkerwijs onmogelijk, er een woord van te begrijpen; het is slechts een ijdel ronddolen door een duister labyrinth[32].

Voor de indeling van onze stof leidt de emancipatie van de mechanica tot de consequentie, dat we voorlopig de vraag naar de physische oorzaken van de verschijnselen die zij onderzoekt, kunnen laten rusten en er ook niet op behoeven te letten, in hoeverre haar resultaten experimenteel worden bevestigd; dat zijn onderwerpen die tot de physica in engeren zin behoren en waarop we in een volgende paragraaf (IV: 130) terugkomen. We blijven eerst in het ideële rijk der rationele mechanica.

129. De diensten die Torricelli aan deze wetenschap bewijst blijven niet beperkt tot de principiële verdediging van haar bestaansrecht. Hij spreekt ook nog een vruchtbaar algemeen beginsel uit, dat voor haar verdere ontwikkeling in de zeventiende eeuw een machtig hulpmiddel zal blijken te zijn. Dit z.g. axioma van Torricelli wordt in het boven geciteerde werk als volgt geformuleerd:

> *Onderling verbonden zware lichamen kunnen niet uit zichzelf in beweging komen, wanneer hun gemeenschappelijk zwaartepunt niet daalt*.

Hij maakt dat aannemelijk door er op te wijzen, dat die lichamen eigenlijk één uit verschillende delen bestaand lichaam vormen, dat een enkel zwaar lichaam echter uit zichzelf niet in beweging kan komen, zonder dat het zwaartepunt lager komt te liggen en dat het dus in rust zal blijven, als het zwaartepunt op generlei wijze dalen kan.

Toen Torricelli dit axioma uitsprak en het gebruikte om er de wet van het hellend vlak mee af te leiden (als er evenwicht is ingetreden, blijft bij gelijktijdige verplaatsing van de twee gewichten hun zwaartepunt even hoog liggen) deed hij niet meer dan vorm geven aan een inzicht, dat de vrucht was van een eeuwenlange ontwikkeling, die van Aristoteles over de Parijse Terministen, Copernicus en de Italiaanse mechanici der zestiende eeuw voert. De Aristotelische voorstelling van het streven van het zware naar de natuurlijke plaats in het wereldcentrum was in de veertiende eeuw gepraeciseerd tot de theorie, dat ieder zwaar lichaam een bepaald punt, het *centrum gravitatis*, bezit, waarin de zwaarte als het ware geconcentreerd is en dat zij nu tracht te doen samenvallen met het wereldcentrum. Copernicus had die theorie zonder een andere wijziging kunnen

overnemen dan dat hij wereldcentrum door aardcentrum verving en in dezen vorm komt ze o.m. bij Galilei voor. Kan nu het zwaartecentrum het aardcentrum niet bereiken, dan wil het er althans zo dicht mogelijk bijkomen en nooit zal het zich uit zichzelf van het aardcentrum af, dus omhoog, verplaatsen. Het vage van de gehele theorie bleef nu echter steeds de wijze waarop het zwaartecentrum moest worden bepaald. Het lag voor de hand, het te identificeren met het zwaartepunt, dat Archimedes in zijn wiskundige theorieën had gebruikt; echter wordt dit nergens expliciet gedefinieerd en er bleef dus onzekerheid over de betekenis ervan bestaan.

Torricelli wijst er nu op, dat de methoden waarmee Archimedes en zijn volgelingen het zwaartepunt bepalen, slechts zin hebben, wanneer de verticalen parallel worden gedacht; daarmee is dan echter tevens het centrum waar de zwaarte het zwaartepunt heen wil voeren, oneigenlijk geworden. Van dat centrum spreekt hij dan ook niet meer, maar in zijn formulering houdt hij de juiste kern van het denkbeeld van het centrum gravitatis over.

Wij zullen zien (IV: 141), hoe het axioma eerst in handen van Huygens zijn volle vruchtbaarheid zal tonen. Voordat we echter tot de bespreking hiervan overgaan, ronden we het beeld van Galilei's school in de geschiedenis der mechanica nog door enkele opmerkingen af.

130. Men zou uit het boven gegeven overzicht van het werk van Galilei's leerlingen gemakkelijk den indruk kunnen krijgen, dat de grondslagen die hij gelegd had, algemeen als juist werden aanvaard en dat men er in de zeventiende eeuw eendrachtiglijk op is gaan voortbouwen. Dat is echter lang niet in alle opzichten het geval. Vooreerst was niet iedereen zo gaarne bereid als Torricelli om de empirische complicatie van de wereld der waargenomen physische verschijnselen te verruilen voor den noëtischen eenvoud der rationele mechanica. De verschijnselen van val en worp spelen zich nu eenmaal niet in vacuo af en wie zich bij het gebruik van mechanische werktuigen verlaat op de theoretische betrekking tussen macht en last komt bedrogen uit. Wie hier van nu meer wilde weten, vond in Galilei echter geenszins den betrouwbaren gids dien hij zich in de rationele mechanica getoond had. Hij had weliswaar zijn valwetten door proeven met de valgoot en met slingers experimenteel geverifieerd, maar de hiermee gewaarborgde betrekking tussen weg en tijd gaf nog geen antwoord op de voor de hand liggende quantitatief-absolute vraag, over welken afstand nu eigenlijk een lichaam in een gegeven tijd valt; om het in moderne termen te zeggen: wanneer men weet, dat de val uit rust plaats vindt volgens de formule $s(t) = \frac{1}{2} at^2$, kent men de numerieke waarde van g nog niet, die a in dit geval bezit. In den *Dialogo*[33] komt weliswaar de bewering voor, dat een ijzeren bol van 100 pond vrij vallend in 5 seconden een weg van 100 (Florentijnse) ellen aflegt, waaruit voor g de waarde 8 el/sec^2 (ongeveer 5 m/sec^2) zou volgen, maar toen Baliani om inlichtingen

vroeg, hoe dit resultaat verkregen was, kreeg hij eerst geen en later slechts een onbevredigend antwoord en Galilei zegt ten slotte, dat de opgegeven waarde misschien ook wel niet helemaal juist is, maar dat dit in het verband, waarin hij haar nodig had, niet ter zake doet. Men krijgt den indruk, dat de kwestie hem niet zo erg interesseerde. Dit hangt wellicht samen met het feit, dat een physische constante voor ons denken iets puur contingents, dus irrationeels is; ze heeft een of andere waarde, die men moet aanvaarden zonder dat men er enig inzicht in krijgt, waarom ze juist zo groot is; dit in tegenstelling met het gevoel van evidentie, dat met een uit een noodzakelijk lijkend axioma mathematisch afgeleide relatie als de quadratenwet verbonden is.

131. Anderen echter hechtten aan zulke numerieke waarden van physische constanten evenveel waarde als de astronomen het van oudsher aan hun fundamentele getallen (duur van het jaar, helling van de ecliptica, poolshoogte enz.) hadden gedaan. En ook waren zij er op gesteld, de juistheid van verschillende beweringen die Galilei door redenering had afgeleid, experimenteel te controleren. Er is dan ook in de eerste helft van de zeventiende eeuw veel over val en worp geëxperimenteerd; in Italië door Riccioli en de Accademia del Cimento, in Frankrijk door Gassend en Mersenne. Daarbij deden zich dan vaak wel afwijkingen voor, die men niet steeds aan den invloed van den luchtweerstand en aan de onvermijdelijke waarnemingsfouten heeft toegeschreven, maar ook wel als argumenten tegen Galilei's theoretische beschouwingen heeft uitgespeeld. Over het werkelijke verloop van den val in pleno had deze bovendien nooit meer gezegd dan te lezen stond in zijn vroege valwet, waarin wèl rekening was gehouden met de opwaartse kracht, die een lichaam in een medium ondervindt, maar niet met den weerstand, dien het tegen het doorlaten van het lichaam biedt. Voorlopig zou het ook de mathematische vermogens van den tijd ver te boven gaan, dezen in rekening te brengen.

132. Van physische zijde had men dus werkelijk wel aanleiding, zich door Galilei's onderzoekingen over de valbeweging onvoldaan te betonen; op het gebied der rationele mechanica had men dat in zoverre ook, dat het postuleren van de gelijkheid der eindsnelheden voor den val langs hellende vlakken over gegeven hoogte een zwakke plek in den opbouw van het systeem bleef. Daarnaast echter ziet men telkens weer, dat ook nog een ongegronde oppositie tegen de valwet, dus tegen het fundament van het gehele imposante bouwwerk van den Derden en den Vierden Discorsi-dag, wordt gevoerd. De gedachte aan een evenredigheid tussen snelheid en afstand tot het uitgangspunt, nu echter eerst na het afleggen van een zekeren weg geldig gedacht, blijft nog steeds de geesten bekoren en men vindt dan ook nog vaak tegenover de valwet van Galilei zowel een uit deze onderstelling afgeleide relatie als andere mogelijkheden als gelijkwaardige mededingers gesteld.

Wanneer dan ook Mersenne, die zich niet alleen in de theorie van het

onderwerp had verdiept, maar ook veel zelfstandig over de valbeweging had geëxperimenteerd[34], in 1647 in zijn *Reflexiones Physico-Mathematicae* de balans van Galilei's onderzoekingen opmaakt, vindt hij daarin nog onzekerheid op belangrijke punten, leemten in den opbouw en aanleiding tot twijfel, of de beschreven experimenten wel werkelijk uitgevoerd zijn en hij weet ten slotte den stand van het gehele vraagstuk niet beter te karakteriseren dan met de woorden van Paulus, I Cor. 8:2 En zo iemand meent iets te weten, die heeft nog niets gekend gelijk men behoort te kennen.

E. De ontwikkeling van het krachtbegrip

133. De strenge methodische beperking tot het kinematische, die Galilei zich zelven had opgelegd, maar die hij, blijkens het late dynamische bewijs voor het postulaat der gelijke eindsnelheden, zelf ook niet altijd in acht is blijven nemen, heeft bij zijn opvolgers niet lang standgehouden. Zij had ook geen reden van bestaan meer: het stond nu - althans in hun oog - vast, hoe de valbeweging verloopt en dus was de tijd gekomen om dieper door te dringen. Wij zagen dan ook reeds Baliani moeite doen om te begrijpen, hoe onder invloed van een constante zwaarte een eenparig veranderlijke beweging kan ontstaan en mèt hem beschouwen verscheidene andere auteurs het als hun eerste plicht, dit nog steeds paradoxaal aandoende effect te verklaren. Voor den overgang van de Aristotelische naar de klassieke natuurwetenschap heeft dit streven niet minder belang dan de geestelijke worsteling om het traagheidsinzicht. In zeker opzicht overtreft het deze zelfs in historische betekenis. Het ging immers om de overwinning van een opvatting, die in zoverre nog natuurlijker mag heten dan de antieke voorstelling van traagheid als tendentie tot volharding in rust, dat de dagelijkse ervaring haar met de ene uitzondering van de dan ook steeds als problematisch gevoelde valbeweging, nog ondubbelzinniger schijnt te leren. Wij hebben reeds vaker opgemerkt, hoe vanzelfsprekend het moest lijken, dat een constante bewegingsoorzaak een eenparige beweging teweeg brengt en dat de snelheid van deze beweging een maat voor haar sterkte is en we hebben sindsdien kunnen vaststellen, dat zelfs zo scherpziende en voor geen denkrevolutie terugdeinzende geesten als Galilei en Torricelli zich nog niet aan de overtuigende werking van dit dynamische grondinzicht konden onttrekken, hoewel ze toch juist bewegingen onderzochten die door het bezit van een versnelling, naar het ons thans voorkomt, tot haar verwerping moesten leiden.

134. De moeilijkheid die bij de hervorming van het krachtbegrip overwonnen moest worden, was echter niet alleen groter dan bij de verovering van het nieuwe traagheidsinzicht, ze was ook van principieel anderen aard. Toen men eenmaal opmerkzaam was geworden op de on-

houdbaarheid van de Aristotelische worptheorie, op de moeite, die het kost een bestaande beweging plotseling te beëindigen en op de mogelijkheid, haar langer dan anders te doen voortduren door de uitwendige weerstanden te verminderen, was het geen grote stap meer om door idealisering te komen tot het axioma van het onveranderd voortbestaan van een beweging bij vernietiging van alle uitwendige invloeden en dit axioma kreeg dan ook, zoals we gezien hebben, inderdaad al spoedig het karakter van evidentie, dat volgens de Aristotelische wetenschapsleer (I: 49) voor de grondslagen van een bewijzende wetenschap vereist wordt. Als uitwerking van een kracht versnelling te beschouwen en niet snelheid, was en bleef echter paradoxaal en er zou in de eerste decennia van de zeventiende eeuw geen sprake van geweest kunnen zijn, dat men dit als axioma (wat destijds nog betekende als iets vanzelfsprekends) had kunnen stellen.

De hedendaagse lezer onderschat licht de moeilijkheden die aan de natuurwetenschappelijke begripsvorming in haar historische ontwikkeling in den weg hebben gestaan. Het lijkt zo eenvoudig: men stelt per definitie vast, dat men zeggen zal, dat op een stoffelijk punt dan en slechts dan een kracht werkt, wanneer het een versnelling bezit (dus alleen niet, wanneer het in eenparige rechtlijnige beweging verkeert) en definieert nu die kracht als een vector die ontstaat door den versnellingsvector te vermenigvuldigen met een voor dat stoffelijk punt karakteristieke scalaire grootheid, genaamd massa. Daar een vrij vallend stoffelijk punt een constante versnelling bezit, werkt er blijkbaar een constante kracht op, die men de zwaarte noemt. En een punt, waarop helemaal geen kracht werkt, heeft geen versnelling en verkeert dus in rechtlijnige eenparige beweging.

135. Zo iets kan men echter alleen maar achteraf doen. De natuurwetenschap ontstaat niet door definities te poneren; ze moet feiten vaststellen, deze in een logisch samenhangend stelsel ordenen door het invoeren van passende begrippen en door het opsporen van uitspraken die er zich toe lenen, om als grondslagen voor zulk een logische ordening te fungeren. Voorzover de gekozen axiomata die keuze niet reeds danken aan een zekere evidentie, verkrijgen ze deze door het langdurig gebruik en vooral door de suggestieve werking van het onderwijs op den duur vanzelf en dan kan het aan latere generaties toeschijnen, alsof alles van het begin af logisch geheel doorzichtig is geweest, althans had behoren te zijn. Dat leidt dan tot een enigszins geringschattende verbazing over foutieve denkbeelden of omslachtige methoden van de voorgangers, een misplaatste reactie, die vervangen behoorde te worden door een gevoel van erkentelijkheid voor het moeizame pionierswerk, waarvan de vruchten thans voor iedereen ter beschikking staan zonder dat er nog veel inspanning vereist wordt.

De geschiedenis van de mechanica in de zeventiende eeuw is niets anders dan het verhaal van zulk een ordeningsproces. Op het punt waarop we thans staan, is het traagheidsaxioma reeds als bruikbare grondslag erkend, maar het nieuwe algemene krachtsbegrip is nog pas bezig zich te

vormen en wacht nog op inpassing in het stelsel. En voorlopig wordt de ordening nog in deze richting gezocht, dat men kracht als een geen nadere definitie vereisend grondbegrip opvat en nu met behulp van het traagheidsaxioma tracht te bewijzen, dat een constante kracht een constante versnelling teweegbrengt.

136. Het is duidelijk, dat die poging moest mislukken. Kracht is een zo vage en dubbelzinnige term, die met zoveel anthropomorphe associaties belast is, dat het woord zonder definitie helemaal niet in een wetenschappelijke redenering kan worden gebruikt, tenzij men stilzwijgend gebruik maakt van zekere niet expliciet geformuleerde grondstellingen (b.v. dat een constante kracht in opvolgende gelijke tijdsdelen dezelfde uitwerking heeft en dat die uitwerking beoordeeld kan worden naar de snelheidsverandering), die aequivalent zijn met wat men bewijzen wil.

Het zou ons te ver voeren, wanneer wij hier de verschillende wijzen wilden bespreken, waarop men in de zeventiende eeuw het gestelde doel heeft trachten te bereiken. We vermelden alleen even de afleiding van Borelli, waarin weer gebruik wordt gemaakt van het door Beeckman (IV: 72) toegepaste denkbeeld, de uitwerking van een continu werkende kracht te beschouwen als de limiet van het effect van een periodieke stootkracht met onbepaald toenemende frequentie (Borelli vergelijkt de zwaarte, die Beeckman met kleine hurtkens had laten trekken, met een snel tikkend hamertje, dat het vallend lichaam begeleidt) en die van Huygens, welke laatste de eigenaardigheid vertoont, dat het impliciet toegepaste axioma zo verborgen ligt, dat het werkelijk eerst den schijn heeft, alsof de quadratenwet op geheel legitieme wijze te voorschijn komt. Op den duur zal echter blijken, dat de verlangde ordening niet anders tot stand kan komen, dan doordat men op een of andere wijze postuleert, dat een kracht een versnelling veroorzaakt, waarmee dan tevens het krachtbegrip der klassieke natuurwetenschap impliciet zal worden gedefinieerd.

137. Daarvoor zal dan echter tevens de invoering van het begrip massa nodig zijn en de voor de klassieke physica essentiële en karakteristieke, maar aan herhaald misverstand onderhevige onderscheiding van massa en gewicht. Daarvan is in de periode die ons thans bezig houdt, nog weinig te bespeuren. De voorstelling van zwaarte als een met de hoeveelheid stof van het lichaam samenhangende, in het lichaam zelf zetelende actieve factor laat helemaal geen plaats over voor de gedachte, dat met die hoeveelheid stof ook een zekere passiviteit samenhangt. Daarvoor zal eerst de zwaarte inplaats van als een inwendig bewegingsprincipe als een uitwendige op het lichaam uitgeoefende activiteit moeten worden beschouwd (zoals Beeckman en Borelli reeds deden). Over die verandering in de opvatting van zwaarte spreken we echter eerst in een volgend hoofdstuk. Voorlopig zijn er dus van het latere massabegrip slechts sporen op te merken, die soms tamelijk verborgen liggen, omdat er nog geen vaste term voor bestaat en men vaak gewicht zegt, waar men eigenlijk massa

bedoelt. De duidelijkste uitdrukking is wellicht de beschouwing waardoor Baliani verklaart, hoe het komt, dat in vacuo alle lichamen even snel vallen: hij onderscheidt de zwaarte als agens van het materiële lichaam als passum en onderstelt, dat ze met elkaar evenredig zijn; dat een lichaam niet des te sneller valt, naarmate het zwaarder is, komt doordat de grotere zwaarte ook een grotere hoeveelheid materie in beweging moet brengen. Verder wordt in de herhaaldelijk gemaakte opmerking, dat de hoeveelheid impetus, die een lichaam bij gegeven snelheid opneemt, des te groter is, naarmate het zwaarder is, natuurlijk ook massa in den zin van capaciteit voor impuls bedoeld, wanneer men van gewicht spreekt.

F. Christiaan Huygens

138. Wij hebben boven (IV: 136) den naam Huygens reeds even vermeld bij de bespreking van pogingen tot dynamische afleiding van de valwet en daardoor reeds een eerste bijdrage van zijn hand tot de fundering der mechanica genoemd. Meer dan dergelijke fundamentele beschouwingen zullen we hier niet van hem leren kennen. Het is namelijk bij hem niet langer mogelijk, tegelijkertijd het doel van dit boek in het oog te houden en althans enige volledigheid in de behandeling te betrachten. Daarvoor ligt het meeste van wat hij gedaan heeft te hoog, behoort het te veel reeds tot de uitvoering van het bouwwerk, waarvan we hier alleen het leggen der grondslagen willen tonen. Daar komt nog bij, dat wij het merendeel van zijn onderzoekingen niet uiteen zouden kunnen zetten zonder bij den lezer een grotere mate van mathematische geschooldheid aanwezig te onderstellen, dan met den opzet van de serie waarvan dit boek deel uitmaakt, strookt. Wat in het volgende over Huygens wordt meegedeeld, is dan ook geenszins toereikend om de grote betekenis die hij voor de ontwikkeling der zeventiende-eeuwse natuurwetenschap bezit, in het licht te stellen.

De onderwerpen die voor ons doel in aanmerking komen, zijn:

a. de dynamische theorie van de eenparige cirkelbeweging.
b. de dynamische uitbreiding van het axioma van Torricelli.
c. de wetten van de volkomen veerkrachtige botsing.
d. de relativiteit van het bewegingsbegrip.

a. *De dynamische theorie van de eenparige cirkelbeweging*

139. Om de stellingen die Huygens hierover zonder bewijs in zijn *Horologium Oscillatorium* (1673) uitspreekt (de afleidingen zijn eerst in 1703 bekend geworden, toen zijn geschrift *De Vi Centrifuga* in de *Opera Posthuma* gepubliceerd werd) te kunnen bespreken, recapituleren we hier

eerst wat de tot volledige ontwikkeling gekomen klassieke mechanica over dit onderwerp leert.

Bij een eenparige cirkelbeweging verandert de grootte van de lineaire snelheid weliswaar niet, maar de richting voortdurend. Er is dus een versnelling aanwezig, waarvan bewezen wordt, dat ze naar het middelpunt is gericht en dat haar grootte wordt voorgesteld door de formule:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

waarin *v* de lineaire snelheid voorstelt en *r* den straal van den doorlopen cirkel. Wil dus een stoffelijk punt met massa *m* een cirkel doorlopen, dan moet er een centripetale kracht op werken, groot $\frac{mv^2}{r}$. Deze kracht trekt het punt als het ware voortdurend van de raaklijn af die het volgens de traagheidswet zou doorlopen wanneer het aan alle uitwendige invloeden onttrokken was.

Zo wordt de situatie beoordeeld, als men de beweging beschouwt ten opzichte van een vast assenstelsel. Doet men het echter ten opzichte van een assenstelsel dat met het stoffelijk punt mee draait en ten opzichte waarvan het dus in rust is, dan moet men zeggen, dat er langs den naar buiten verlengden straal een z.g. traagheidskracht, groot $\frac{mv^2}{r}$ werkt, die met de spanning in het koord, waardoor we het stoffelijk punt met het middelpunt, verbonden denken, evenwicht maakt en die de centrifugale kracht genoemd wordt.

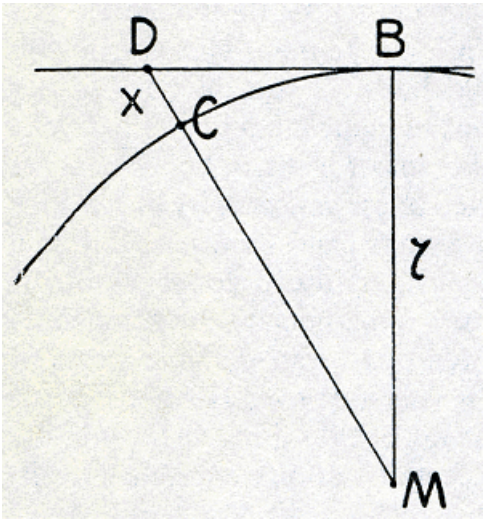


Fig. 36. Afleiding van de centrifugale kracht, uitgeoefend door een lichaam, dat een cirkel doorloopt. Huygens, *De Vi Centrifuga* (*Oeuvres* XVI 253 vlg.).

Huygens stelt zich in zijn afleiding op het tweede standpunt[35]. Hij stelt zich voor (Fig. 36), dat een groot horizontaal wiel om een verticale as door het middelpunt wentelt. Een waarnemer, die aan den rand bevestigd is, houdt nu een stoffelijk punt met behulp van een koordje vast en dit punt doorloopt den omtrek van een cirkel met straal *r*. Denk, dat waarnemer en punt op zeker ogenblik in het punt *B* zijn en een lineaire snelheid *v* hebben. Kon nu het punt van hieruit vrij voortgaan langs de raaklijn, dan zou het na Δt sec. een punt *D* op de raaklijn bereiken, zo gelegen dat:

$$BD = v.\ \Delta\ t.$$

In werkelijkheid komen waarnemer en punt in *C*, zo gelegen, dat:

lengte van boog *BC* = $v \,.\, \triangle t.$

Vrijgelaten zou het punt zich dus over den afstand *CD* van den waarnemer verwijderd hebben. Bij benadering kan worden aangenomen, dat *CD* in het verlengde van *MC* valt. Is nu *CD* = *x*, dan vinden we:

$$x = \sqrt{r^2 + (v \,.\, \triangle t)^2} - r = r\left\{1 + \left(\frac{v \,\triangle t}{r}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} - r =$$

$$= r\left\{1 + \tfrac{1}{2}\left(\frac{v \,.\, \triangle t}{r}\right)^2\right\} - r = \tfrac{1}{2}\frac{v^2}{r}(\triangle t)^2$$

(1)

Wij vergelijken nu de ervaringen van den waarnemer op het wiel met die van een anderen, die een stoffelijk punt aan een koord vasthoudt. Wanneer dit de gelegenheid kreeg, zich van den waarnemer te verwijderen, zou het in Δ *t* sec. een weg verticaal omlaag afleggen, groot:

$$\tfrac{1}{2}\, g\, (\Delta t)^2 \qquad (2)$$

Wij schrijven dit toe aan de werking van een verticaal omlaag gerichte kracht, groot *mg*, die door een omhoog gerichte spanning in het koord wordt opgeheven. Door de uitkomsten (1) en (2) te vergelijken, zien we, dat we dan het gedrag van het ronddraaiend stoffelijk punt ten opzichte van den waarnemer op den cirkelrand moeten omschrijven door te zeggen, dat er een naar buiten gerichte kracht $\frac{mv^2}{r}$ op werkt, die door de naar het middelpunt gerichte spanning van het koord, waaraan het punt wordt rondgeslingerd, wordt opgeheven. Hiermee is de redenering van Huygens in beginsel weergegeven. Alleen stelt hij, in overeenstemming met het in IV: 93 opgemerkte, geen formule op, maar spreekt verhoudingsstellingen uit. Daar hierin telkens eenzelfde stoffelijk punt in verschillende bewegingstoestanden vergeleken wordt, doet de massa niet ter zake. Men kan ook zeggen, dat de stellingen eigenlijk over de centrifugale versnelling handelen.

140. Van de verschillende toepassingen die Huygens van zijn theorie der eenparige cirkelbeweging maakt, moet vooral de conische slinger worden vermeld, een stoffelijk punt aan een massaloos gedachten draad, die een rechten cirkelkegel beschrijft. Dit geval was voor hem van belang in verband met de constructie van slingeruurwerken. Voor de theoretische mechanica bestaat de betekenis van Huygens' theorie der centrifugaalkracht voor alles daarin, dat hier geheel duidelijk werd gemaakt, dat voor het in stand houden van een kromlijnige beweging, ook indien deze eenparig is, de voortdurende inwerking van een kracht (de spanning in het koord, die de centrifugaalkracht opheft) vereist wordt. Daardoor werd een oude, maar nog nooit geheel uitgeroeide opvatting van traagheid die

daarin bestond, dat een stoffelijk punt dat zich in eenmaal in een cirkel beweegt, bij vernietiging van alle uitwendige invloeden in die cirkelbeweging zou volharden, definitief weerlegd. Verder is natuurlijk van belang, dat een beweging werd beschouwd ten opzichte van een wentelend assenstelsel. Het inzicht, dat een eenparige kromlijnige beweging een versnelling bezit (daar komt Huygens' gedachtengang toch eigenlijk op neer, al gebruikt hij het woord versnelling ook niet) berust daarop, dat verandering van een snelheid (de voorwaarde voor aanwezigheid van een versnelling) wel alleen kan bestaan in een richtingsverandering; het is aequivalent met het inzicht in het vectorkarakter van een snelheid.

b. *De dynamische uitbreiding van het axioma van Torricelli*

141. Het axioma van Torricelli is naar oorsprong en aard een statisch axioma; het formuleert een voorwaarde voor evenwicht. Huygens geeft er echter een generalisering aan, die het tot een uiterst vruchtbaar dynamisch grondbeginsel vervormt[36].

We denken ons eerst een stoffelijk punt, dat op een hoogte h boven het aardoppervlak in rust wordt gehouden; losgelaten zal het in beweging komen. Na zekeren tijd bezit het een geringere hoogte h_1 dan in den beginstand, maar het heeft nu een zekere snelheid verkregen. Stel nu, dat het die snelheid kon gebruiken om verticaal omhoog te gaan en dat het daardoor over een afstand h_2 steeg. Het zou dan een hoogte $h_1 + h_2$ bezitten. Huygens stelt nu als axioma, dat deze hoogte niet groter kan zijn dan h. Neemt men aan, dat de uitgevoerde beweging ook in omgekeerde richting kan verlopen, dan kan h ook niet groter zijn dan $h_1 + h_2$, zodat dan dus moet gelden:

$$h = h_1 + h_2.$$

Daar deze redenering op ieder ogenblik van de beweging geldt, kunnen we ook zeggen, dat op ieder ogenblik de som van de werkelijke hoogte en het bedrag waarover het punt nog zou stijgen, wanneer zijn snelheid verticaal omhoog was gericht, constant is.

Heeft men nu een stelsel van onderling verbonden punten en laat men hierin op zeker ogenblik alle punten onafhankelijk van elkaar (dus met verbreking van de verbindingen) de beschreven beweging omhoog uitvoeren, dan komt het gemeenschappelijk zwaartepunt steeds op dezelfde hoogte te liggen.

Om de betekenis van dit axioma na te gaan, stellen we op zeker ogenblik de hoogten der stoffelijke punten h_i, de snelheden v_i; de massa's mogen m_i zijn, de versnelling van den vrijen val g. Men vindt dan voor de hoogte van het zwaartepunt van het stelsel, als alle punten in hun hoogsten stand worden vastgehouden (virtuele zwaartepuntshoogte):

$$\frac{\Sigma m_i g\left[h_i + \frac{v_i^2}{2g}\right]}{\Sigma m_i g} \quad \text{of} \quad \frac{\Sigma m_i g h_i + \Sigma \tfrac{1}{2} m_i v_i^2}{\Sigma m_i g}$$

Het axioma zegt nu, dat deze breuk constant is en daar de noemer niet verandert, geldt dit ook voor den teller afzonderlijk. Dus geldt:

$$\Sigma\, m_i\, g\, h_i + \Sigma\, ½\, m_i\, v_i^2 = \text{constant}$$

en dit is niets anders dan de wet van behoud van mechanisch arbeidsvermogen in het homogeen gedachte zwaarteveld der aarde.

Het verdient opmerking, dat terwijl deze wet in de voltooide mechanica een bewijsbare stelling is, Huygens haar in het stadium van voorbereiding, waarin we thans nog verkeren (men bedenke, dat de grondstelling *K = ma* nog nooit expliciet is geformuleerd) op grond van een intuïtief inzicht als axioma stelt. Die intuïtie was dezelfde als die waarop Stevin zijn clootcransbewijs gefundeerd had: de onmogelijkheid van een eeuwig roersel, van het voortbrengen van energie uit niets.

142. Wij zullen de geniale wijze, waarop Huygens van het gegeneraliseerde axioma van Torricelli gebruik maakt, toelichten aan een eenvoudig voorbeeld uit een der theorieën, waardoor hij de klassieke mechanica heeft helpen opbouwen, namelijk de theorie van het z.g. *centrum oscillationis* (slingermiddelpunt) van een physischen slinger[37]. Wij denken ons daartoe

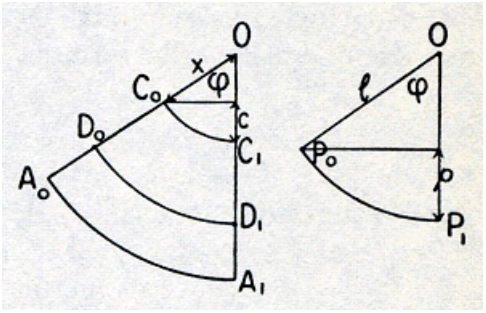


Fig. 37a. Afleiding van de slingerlengte van een homogene staaf. Huygens, *Oeuvres* XVI 420.

(Fig. 37a) een homogeen zwaar lijnstuk *OA* van lengte *a*, dat om *O* kan slingeren en vragen naar de lengte *l* van een enkelvoudigen of mathematischen slinger (een stoffelijk punt *P* aan een massalozen draad), die denzelfden slingertijd heeft als de physische. We denken daartoe beide slingers over een hoek φ uit hun evenwichtsstand verplaatst. Laat daarbij *P* in P_0 een hoogte *p* boven zijn laagsten stand P_1 hebben gekregen en noem de overeenkomstige grootheid voor een veranderlijk punt *C* van den physischen slinger op afstand *x* van *O* verwijderd *c*. Blijkbaar is dan:

$$c = x/l.p.$$

Laat men nu de slingers los, dan zullen zij in beweging komen en na zekeren tijd beide de verticaal passeren. We denken *OA* nu bestaande uit *n* gelijke delen, die we als punten beschouwen, die elk een massa *m* hebben; op het ogenblik, dat de staaf de verticaal passeert, denken we ons

al die deeltjes van elkaar losgemaakt en laten ze elk met de verkregen snelheid verticaal omhoog stijgen (Huygens past een enigszins anderen gedachtengang toe, die echter in wezen op hetzelfde neerkomt). De snelheid *u*, waarmee *P* de verticaal passeert is even groot als wanneer *P* over den afstand *p* vrij gevallen was (Galilei's postulaat der gelijke eindsnelheden (IV: 95)). Zij volgt dus uit:

$$u^2 = 2gp.$$

Is *OD* = *l*, dan zal *D* met dezelfde snelheid *u* door de verticaal gaan. Voor *C* bedraagt de snelheid dus *x*/*l u* en de hoogte *h* waarover *C* hierdoor stijgen kan, volgt dus uit:

$$2gh = \left(\frac{x}{l}u\right)^2$$

waaruit volgt:

$$2gh = \frac{x^2}{l^2} \cdot 2gp \quad \text{of} \quad h = \frac{x^2}{l^2} p\,.$$

Om nu de zwaartepuntshoogte z_0 van *OA* in den stand OA_0 te vergelijken met de virtuele zwaartepuntshoogte zou men feitelijk de bewerking moeten uitvoeren, die door de formule

$$z_0 = \frac{\Sigma\, m_i\, z_i}{\Sigma\, m_i}$$

wordt aangegeven, waarin z_i de hoogte van elk der punten boven een zeker horizontaal vlak voorstelt. Kiezen we hiertoe (Fig. 37b) het horizontale vlak door

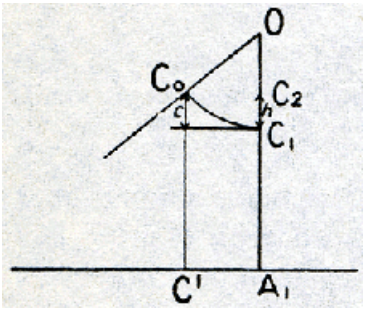


Fig. 37 b. Afleiding van de slingerlengte van een homogenestaaf. Huygens, *Oeuvres* XVI 420.

A_1 en is C_2 het hoogste punt van *C* in de verticale beweging omhoog, dan is de bijdrage van het punt C tot den teller in stand I C_0C', in stand II C_2A_1. Laat men nu aan weerskanten het stuk C_1A_1 weg, dan blijkt, dat we voor elk punt de hoogte kunnen nemen, die het in de standen I en II boven het laagste punt van zijn baan heeft. Het gegeneraliseerde axioma van Torricelli zegt nu:

$$\Sigma \frac{x}{l} p = \Sigma \frac{x^2}{l^2} p.$$

Hierin moet nu het aantal *n* der delen tot oneindig naderen. In een later stadium van ontwikkeling der wiskunde zal men hiertoe de hulpmiddelen der integraalrekening kunnen gebruiken. Huygens is echter nog aangewezen op oudere meetkundige methoden, die berusten op het denkbeeld

der graphische voorstelling, dat hier opnieuw zijn onschatbare waarde voor den opbouw der zeventiende-eeuwse mechanica toont. Stelt men namelijk op *a* als extensio de grootheden $y = x/l$ en $z = x^2/l^2$ als latitudo voor, dan verkrijgt men opv. een rechte en een parabool.

De sommen $\Sigma\, x/l$ en $\Sigma\, x^2/l^2$ worden nu voor beide graphieken de aggregaten van alle ordinaten, die te meten zijn door de oppervlakten der

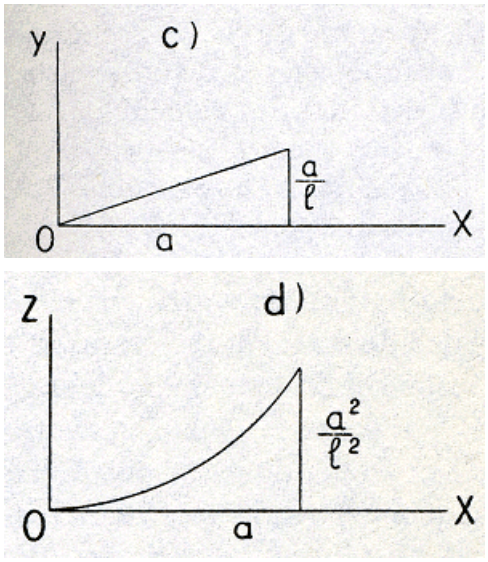


Fig. 37 c en d. Afleiding van de slingerlengte van een homogene staaf. Huygens, *Oeuvres* XVI 420.

figuren, begrensd door de X-as, de kromme en de eindordinaat. Nu is deze voor den driehoek in Fig. 37c $\frac{1}{2}\, a^2/l$ en voor de parabool van Fig. 37d (met behulp van een door Archimedes bewezen stelling) $\frac{1}{3}\, a^3/l^2$. Men vindt dus de betrekking: $\frac{1}{2}\, a^2/l = \frac{1}{3}.a^3/l^2$

waaruit volgt: $l = \frac{2}{3}\, a$.

Dank zij de virtuose beheersing van deze meetkundige methode heeft Huygens tal van resultaten weten te bereiken, waarvoor den hedendaagsen lezer kennis der integraalrekening onontbeerlijk toeschijnt.

c. *De wetten van de volkomen veerkrachtige botsing*

143. Huygens heeft in 1667 wetten voor de volkomen veerkrachtige botsing gevonden, waarvan de bewijzen echter eerst bekend zijn geworden toen in 1703 zijn werk *De Motu Corporum ex Percussione* in de *Opera Posthuma* verscheen. Het onderwerp verdient om twee redenen onze aandacht: vooreerst om de vernuftige wijze waarop bij de afleiding gebruik wordt gemaakt van enkele boven reeds besproken mechanische beginselen en vervolgens om de fundamentele betekenis die, zoals blijken zal, in den opbouw van het wereldbeeld der zeventiende-eeuwse physica aan het botsingsverschijnsel toekwam.

Huygens beperkt zich tot het geval van centrale botsing van twee volkomen veerkrachtige homogene bollen van dezelfde stof[38]; de term centraal beduidt hierbij, dat zij zich voor de botsing bewegen langs de ver-

bindingslijn hunner middelpunten en de betekenis van volkomen veerkrachtig wordt bepaald door het axioma, dat wanneer twee bollen van gelijke massa met gelijke tegengesteld gerichte snelheden tegen elkaar botsen, zij zich na de botsing beide zullen bewegen met snelheden, die even groot zijn als de oorspronkelijke, maar tegengesteld daaraan gericht. Om nu de botsingswetten af te leiden, stelt Huygens zich voor, dat de botsing plaats vindt in een boot, die met een constante snelheid langs een rechten oever vaart; op grond van het relativiteitsbeginsel der klassieke mechanica, dat hij als eerste uitdrukkelijk als axioma formuleert (met vermelding van de voorwaarde van eenparigheid van de aan het stelsel meegedeelde translatie) verandert daardoor aan het botsingsverschijnsel niets. De methode van behandeling bestaat nu hierin, dat de snelheid van de boot telkens zo gekozen wordt, dat voor een waarnemer aan den oever het optredende geval tot de reeds bekende behoort. Deze weet dus, wat er gebeurt en de waarnemer in de boot kan daaruit gemakkelijk afleiden, wat hij te zien zal krijgen. We zullen hier enkele van de door Huygens afgeleide stellingen volgens zijn methode aantonen, maar daarbij ter verkorting gebruik maken van algebraisch tekenschrift.

We denken de massa's der lichamen I en II opv. m_1 en m_2, hun snelheden:

ten opzichte van de boot	{voor de botsing u_1 en u_2
	{na de botsing v_1 en v_2
ten opzichte van de oever	{voor de botsing U_1 en U_2
	{na de botsing V_1 en V_2

Op de verbindingslijn van de centra wordt de richting van I naar II als positief aangenomen; we denken I links van II en u_1 positief gericht. De snelheid van de boot ten opzichte van den oever zij W. Snelheden ten opzichte van den oever worden dus verkregen uit snelheden ten opzichte van de boot door vermeerdering met W; voor den omgekeerden overgang moet W worden afgetrokken. Het aangenomen axioma zegt dan dat als $m_1 = m_2$ en $u_1 = - u_2$, zal gelden: $v_1 = - u_1$ en $v_2 = - u_2$.

Wij blijven eerst onderstellen, dat de massa's gelijk zijn, maar denken de snelheden verschillend in absolute waarde. Er zal botsing optreden, wanneer $u_1 > u_2$. Kies nu

$$W = -\frac{u_1 + u_2}{2}$$

dan vindt men

$$U_1 = u_1 - \frac{u_1 + u_2}{2} = \frac{u_1 - u_2}{2}$$

$$U_2 = u_2 - \frac{u_1 + u_2}{2} = \frac{u_2 - u_1}{2}.$$

Ten opzichte van den oever gelden dus de voorwaarden van het axioma, dus is:

$$V_1 = \frac{u_2 - u_1}{2} \text{ en } V_2 = \frac{u_1 - u_2}{2}.$$

Hieruit volgt echter:

$$v_1 = \frac{u_2 - u_1}{2} + \frac{u_1 + u_2}{2} = u_2 \text{ en } v_2 = \frac{u_1 - u_2}{2} + \frac{u_1 + u_2}{2} = u_1.$$

Het resultaat is, dus, dat de beide lichamen elkanders snelheden hebben overgenomen.

144. Om nu het geval van ongelijke massa's te kunnen behandelen, heeft Huygens twee nieuwe axiomata nodig. Het eerste zegt, dat wanneer een lichaam met grotere massa botst tegen een met kleinere massa, dat in rust verkeert, het hieraan een zekere snelheid zal meedelen en zelf enige snelheid zal verliezen; het tweede, dat als voor een van twee botsende lichamen de snelheid door de botsing niet in absolute waarde veranderd is, dit voor het tweede ook niet het geval is. Uit het eerste axioma volgt eenvoudig, dat een lichaam botsend tegen een rustend lichaam met grotere massa hieraan altijd enige snelheid zal meedelen. Men behoeft slechts *W* zo te kiezen, dat het eerste lichaam tot rust komt, om dit in te zien.

Huygens kan nu de belangrijke stelling bewijzen, dat de snelheid die de lichamen ten opzichte van elkaar bezitten, door de botsing in absolute waarden niet zal veranderen, terwijl de richting wordt omgekeerd. Dit wordt eerst bewezen voor het speciale geval, dat het lichaam met de grootste massa aanvankelijk in rust is; daarna kan het gemakkelijk tot alle andere gevallen worden gegeneraliseerd. Zij dus m_1 m_2 en $u_2 = 0$. Dan ontstaat er in ieder geval een snelheid v_2 die positief is, maar kleiner dan u_1 (voor $m_1 = m_2$ zou $v_2 = u_1$ zijn). Kies nu $W = - ½ v_2$ dan zijn de snelheden ten opzichte van den oever:

voor de botsing $u_1 - ½ v_2$ en $- ½ v_2$
na de botsing $v_1 - ½ v_2$ en $½ v_2$.

De snelheid van II is dus in absolute waarde niet veranderd, die van I dus ook niet, dus geldt:

$$u_1 - ½ v_2 = ½ v_2 - v_1$$

of

$$v_2 - v_1 = u_1.$$

Echter was:

$$u_2 - u_1 = -u_1,$$

dus is de snelheid van II ten opzichte van I in absolute waarde gelijk-gebleven, maar van richting veranderd. Natuurlijk geldt ook:

$$V_2 - V_1 = -[U_2 - U_1].$$

145. Nu we hierdoor een indruk van de methode hebben gegeven, zal het niet nodig zijn, het betoog verder op den voet te volgen. We vermelden echter nog enkele resultaten, die voor het volgende van belang zullen blijken te zijn. Vooreerst een propositie[39], waarin Huygens aantoont, dat wanneer men onder *quantitas motus* het product verstaat van de massa en de absolute waarde van de snelheid van een lichaam, de totale

quantitas motus bij een botsing gelijk kan blijven, maar ook wel af- of toe kan nemen. Wij zullen zien, dat dit van belang is voor de beoordeling van het wereldbeeld van Descartes. Vermelding verdient voorts de stelling[40], dat wanneer twee lichamen elkaar ontmoeten met tegengesteld gerichte snelheden, die omgekeerd evenredig zijn met hun massa's, zij beide terug zullen worden geworpen met een even grote snelheid als waarmee zij zich voor de botsing bewogen; bij het bewijs hiervan wordt het gegeneraliseerde axioma van Torricelli gebruikt. En ten slotte het theorema[41], dat de som van de producten van elk der massa's met het quadraat van de snelheid bij de botsing constant blijft, wat later zal worden uitgedrukt als het constant blijven van de totale kinetische energie en als definitie van volkomen veerkrachtigheid zal worden gebruikt.

146. Het verdient opmerking, dat Huygens in het werk *De Motu Corporum ex Percussione* niet de voor alle botsingsverschijnselen fundamentele wet van behoud van impuls uitspreekt, die geldt, wanneer men alle snelheden algebraisch in rekening brengt. Hij had haar natuurlijk uit de boven vermelde resultaten kunnen vinden door de stelling:

$$m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$$

geschreven in den vorm:

$$m_1(u_1^2 - v_1^2) = m_2(v_2^2 - u_2^2)$$

te combineren met het theorema van de onveranderde relatieve snelheid geschreven als:

$$u_1 + v_1 = u_2 + v_2.$$

Immers nu volgt dadelijk:

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(v_2 - u_2)$$

of:

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2.$$

Uit zijn aantekeningen blijkt, dat hij deze stelling voor volkomen veerkrachtige lichamen wel kende (zelfs dat hij overwogen heeft, haar als axioma te stellen) en dat hij haar geldigheid voor volkomen onveerkrachtige en onvolkomen veerkrachtige vermoedde[42]. Hij formuleert de stelling bovendien nog in dezen vorm[43], dat het gemeenschappelijk zwaartepunt voor en na de botsing met dezelfde melheid en in dezelfde richting voortgaat, dus van de botsing niet den minsten invloed heeft ondervonden. De beide leden van de afgeleide betrekking stellen namelijk den impuls van het zwaartepunt voor en na de botsing voor, wanneer men aan dit punt de som der beide massa's als massa toekent. Zijn namelijk op zeker ogenblik de afstanden der twee bolcentra tot een zeker punt O op hun verbindingslijn x_1 en x_2 dan volgt de afstand x_0 van hun zwaartepunt tot O uit de betrekking:

$$x_0 = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

of:

$$(m_1 + m_2)x_0 = m_1 x_1 + m_2 x_2.$$

Hieruit volgt echter gemakkelijk:

$$(m_1 + m_2)u_0 = m_1 u_1 + m_2 u_2,$$

als u_0 de snelheid van het zwaartepunt voorstelt.

Later zou blijken, dat deze stelling slechts een bijzonder geval is van het algemene theorema, dat de krachten die de lichamen van een stelsel op elkaar uitoefenen, niets aan de beweging van het zwaartepunt van dat stelsel kunnen veranderen.

d. *De relativiteit van het bewegingsbegrip*

147. De overgang van het Aristotelische wereldbeeld naar dat van de klassieke physica bracht een ingrijpende verandering met zich mee in de opvatting van de ruimte waarin zich de natuurverschijnselen afspelen. Men had deze, zonder het nadrukkelijk uit te spreken, steeds als physische ruimte onderscheiden van de meetkundige ruimte, waarop de redeneringen der wiskundigen betrekking hadden; de eerste ligt ingesloten tussen de onbeweeglijke centrale aarde en de spheer die het heelal omhult; de laatste is een zuiver rededing(*ens rationis*) en kan als zodanig oneindig en homogeen worden gedacht zonder dat daaruit iets voortvloeit aangaande de physische wereld.

Deze onderscheiding begint nu echter in de zestiende en zeventiende eeuw onder invloed van de veranderingen in de kosmologische denkbeelden te vervagen. De aarde verliest haar centrale en onbeweeglijke positie en de afmetingen van het heelal groeien buiten iedere voorstelling. Er zijn geen absoluut bevoorrechte richtingen meer, zoals in het geocentrische wereldbeeld omhoog en omlaag waren.

Koyré[44] heeft deze verandering van opvatting door den term mathematisering van de physische ruimte uitgedrukt. Inderdaad komt ze hierop neer, dat de natuurverschijnselen moeten geacht worden zich af te spelen in de lege ruimte der geometrie. Het vroegere ens rationis wordt nu tot het spatium mundanum, de oneindige wereldruimte. Het is een overgang, waar Kepler en Galilei nog voor waren teruggedeinsd, maar die bij Huygens reeds geheel voltrokken is, zonder dat er veel over wordt gepraat.

148. Er zaten niettemin tal van denkmoeilijkheden aan vast, die o.m. bij de fundering van de klassieke mechanica aan het licht moesten komen. Een stoffelijk punt dat aan alle uitwendige invloeden onttrokken is, heeft een rechtlijnige eenparige beweging. Maar wat betekent dat? Het is bij de discussies over de aardbeweging reeds lang duidelijk geworden, dat

de baan van een bewegend punt voor den enen waarnemer er heel anders uitziet dan voor een anderen, dat zij dus afhangt van de omgeving of het coördinatenstelsel ten opzichte waarvan de beweging beschouwd wordt en dat ook de wijze waarop de baan doorlopen wordt, verandert wanneer men naar een ander assenstelsel overgaat. Welke is nu de omgeving, ten opzichte waarvan de bedoelde inertiaalbeweging eenparig en rechtlijnig is?

Voorzover het tot de zeventiende-eeuwse mechanici is doorgedrongen, welk een beklemmende vraag hiermee gesteld was, schijnen zij haar in den regel in dezen zin beantwoord te hebben, dat die omgeving niets anders is dan het spatium mundanum zelf, de lege wereldruimte. Zoals de bewegingsverschijnselen volgens het Aristotelische denken zich afspeelden tussen de vaste aarde en de buitenste spheer, verlopen ze nu tegen den onbeweeglijken achtergrond dien de ruimte vormt.

149. Dit antwoord acht Huygens volstrekt onbevredigend[45]. Het is hem even onmogelijk, een zin te verbinden aan de zegswijze, dat de oneindige ruimte in rust verkeert, als het hem zou zijn, zich iets te denken bij de bewering, dat ze zich beweegt. De termen rust en beweging worden gebruikt voor lichamen, niet voor de ruimte waarin die lichamen geplaatst zijn. Bovendien is reeds dit ‘plaatsen’ een uitdrukking zonder zin: het is niet in te zien, hoe men in de oneindige homogene lege ruimte de ene plaats van de andere zou kunnen onderscheiden.

De overtuiging, dat aan de woorden rust en beweging niet de absolute betekenis van het al of niet behouden van een bepaalde plaats in de ruimte kan worden gehecht en dat ze dus alleen gebruikt kunnen worden om de relatie van een lichaam tot een gekozen omgeving uit te drukken, wordt nog ondersteund door het inzicht, dat we reeds als relativiteits-beginsel der klassieke mechanica hebben leren kennen (IV: 117) en door Huygens met zoveel vrucht hebben zien toepassen (IV: 143): wanneer de verschijnselen van val, worp en botsing toch niet in het minst anders gaan verlopen, wanneer men aan het gehele stelsel waarin ze zich afspelen, een eenparige rechtlijnige translatie geeft, wanneer zij, om hetzelfde anders uit te drukken, niet veranderen als men ze beschouwt ten opzichte van een assenstelsel, dat ten opzichte van het oorspronkelijk gebruikte een eenparige rechtlijnige translatie bezit, kan zelfs iemand die aanvankelijk van mening is geweest, dat aan de woorden rust en beweging een absolute betekenis kan worden toegekend door ze te betrekken op het spatium mundanum, dit niet blijven volhouden. Want hoe zal hij een assenkruis dat in dit spatium vastligt, onderscheiden van een dat ten opzichte van dit spatium een rechtlijnige eenparige translatie bezit?

Huygens komt dus tot de conclusie, dat het niet den minsten zin heeft, tussen de ware beweging van een punt, die dan de beweging ten opzichte van het spatium mundanum zou zijn, en de relatieve bewegingen die het uitvoert ten opzichte van omgevingen die zelf weer ten opzichte van dit spatium in beweging zijn, te onderscheiden. Hij drukt dit kernachtig uit

door te zeggen[46], dat de ware beweging (*verus motus*) relatieve beweging is, waarmee hij te kennen wil geven, dat het woord beweging eerst waarlijk zin krijgt wanneer men erbij zegt, ten opzichte van welke omgeving men het bedoelt en tevens, dat er onder de verschillende mogelijke omgevingen niet een is, die een uitzonderingspositie inneemt en het dus mogelijk maakt, een echte beweging van oneindig veel schijnbare te onderscheiden. Daar hij echter, de meningen van anderen weerleggend, den term verus motus ook vaak gebruikt in den zin dien zij er aan hechten, maar dien hij niet erkennen kan, namelijk als beweging betrokken op het spatium mundanum, draagt die kernachtigheid niet steeds tot de duidelijkheid van zijn beschouwingen bij.

150. Is het nu de bedoeling van Huygens geweest, te beweren, dat alle assenstelsels onderling gelijkwaardig zijn? Dat kan men zeker niet onderstellen. Immers hij houdt vast aan de traagheidswet: de beweging van een aan alle invloeden onttrokken stoffelijk punt moet eenparig en rechtlijnig zijn. Wanneer nu echter zulk een punt ten opzichte van een zeker assenstelsel zulk een beweging bezit, heeft het haar ongetwijfeld ook ten opzichte van alle assenstelsels, die ten opzichte van dit eerste een eenparige rechtlijnige translatie hebben, maar even zeker niet ten opzichte van alle assenstelsels die zich ten opzichte van het eerste op andere wijze bewegen. Op de vraag, hoe men nu de eerste groep, de inertiaalstelsels, van de tweede zal onderscheiden en hoe men weet, dat zij bestaan, gaat hij niet in. Het zal altijd een zwak punt van de klassieke mechanica blijven, dat zij het bestaan van een inertiaalstelsel (waaruit dat van oneindig vele andere volgt) moet postuleren en niet in staat is, er anders dan bij benadering een aan te wijzen; ze kan daardoor op de vraag, ten opzichte van welke assenstelsels de traagheidswet nu eigenlijk geldt, eigenlijk niets anders antwoorden, dan dat ze geldt ten opzichte van die stelsels waarvoor ze geldt.

Huygens is er zich wel van bewust[47], dat de traagheidswet met het relativiteitsbeginsel der klassieke mechanica inzoverre onverbrekelijk samenhangt, dat zij met behulp van dit principe onmiddellijk voortvloeit uit wat men het antieke traagheidsbeginsel kan noemen en waarin wordt uitgesproken, dat een geheel aan uitwendige invloeden onttrokken stoffelijk punt in rust verkeert. Wanneer dit namelijk ten opzichte van een zeker assenstelsel het geval is, bezit ditzelfde punt een eenparige rechtlijnige beweging ten opzichte van alle stelsels die ten opzichte van het eerste in rechtlijnige eenparige translatie verkeren en daar men de translatiesnelheid naar willekeur kan kiezen, kan men ook zeggen, dat het punt dat in rust heette te verkeren, een willekeurige snelheid bezit, zonder dat er iets aan het punt veranderd is.

151. Men heeft hier weer eens gelegenheid, de wijdte van de klove op te merken, die de klassieke mechanica van de Aristotelische scheidt; voor de laatste was beweging altijd een toestand van een lichaam geweest; het

lichaam werd er anders van, was er om zo te zeggen persoonlijk bij betrokken; thans is beweging een relatie tot een assenstelsel geworden, die men evengoed een eigenschap van dit stelsel kan noemen als van het lichaam. Dit kan zich met enorme snelheden bewegen zonder er iets van te merken. Het verschil betreft niet alleen het verkregen resultaat. Wij zijn in een totaal andere denkspheer gekomen: van de wereld der physische werkelijkheid waar een stoffelijk voorwerp zich een weg moet banen door een weerstandbiedend medium, naar die van de mathematische idealiteit waar het denken een stoffelijk punt, d.i. een mathematisch punt, waaraan een zekere coëfficiënt, genaamd massa, verbonden is, zich in vacuo laat verplaatsen. De winst in exactheid is behaald ten koste van het contact met de wereld der zintuiglijke ervaring.

De beschouwingen die Huygens aan de relativiteit van het bewegingsbegrip wijdt, zijn helaas zeer fragmentarisch van aard; zij staan in nagelaten aantekeningen, die wel de kenmerken dragen van ontwerpen voor een samenvattende verhandeling te bevatten, maar waaruit zulk een verhandeling nooit gegroeid is. Daardoor worden tal van problemen niet ten einde gedacht. Dit is o.m. het geval met de vraag, of niet in de centrifugale verschijnselen die bij een roterend lichaam optreden en die men niet in het leven kan roepen door het lichaam stil te laten staan en er zelf om heen te lopen, een kriterium voor absolute beweging te vinden is. Huygens deelt wel mee, dat hij dit aanvankelijk ook gemeend heeft, maar er later van is teruggekomen. Het blijkt echter niet[48], hoe die verandering van opvatting gemotiveerd wordt. We zullen zien, dat Newton aan deze kwestie grote aandacht heeft gewijd en dat hij op het door Huygens verworpen standpunt is blijven staan (IV: 297).

152. Wij hebben in het bovenstaande slechts een zeer klein gedeelte van het werk van Huygens op het gebied der mechanica kunnen bespreken en daarvoor de allereenvoudigste onderwerpen moeten uitkiezen. Reeds deze hebben echter een belangrijke verandering duidelijk kunnen maken die zich in den loop der zeventiende eeuw in het natuurwetenschappelijk denken aan het voltrekken was en wel de aanzienlijke versterking van het mathematisch karakter der toegepaste redeneringen en opgestelde theorieën. De zeer snelle ontwikkeling die de wiskunde in de zeventiende eeuw zelf doormaakte, doordat de letteralgebra tot stand kwam, de analytische meetkunde werd ingevoerd en de infinitesimaalrekening vèrgaand werd voorbereid, bracht ook de mechanica op hoger peil en werd anderzijds weer door de daarin gestelde problemen bevorderd. Er werd daardoor van de natuuronderzoekers een veel hogere mate van mathematische geschooldheid vereist dan vroeger ooit het geval was geweest. Vóór het begin der zeventiende eeuw had men in het algemeen kunnen volstaan met die mathematische ontwikkeling die van iedere wetenschappelijke vorming deel uitmaakte en ieder die deze had ondergaan, had dus wel over verschijnselen van beweging en evenwicht kunnen meespreken. Nu begon

dat al een aangelegenheid voor specialisten te worden, terwijl het vinden van waarlijk nieuwe wegen aan wiskundig zeer begaafde natuuronderzoekers als Huygens voorbehouden bleef. De vervreemding tussen de wisen natuurkunde en de andere wetenschappen, die in de negentiende en de twintigste eeuw zulke onrustbarende afmetingen zou gaan aannemen, kondigt zich hier reeds aan en toont tevens haar onvermijdelijkheid. In de abstracte spheer, waarin ze steeds meer werden overgebracht, bleken de natuurverschijnselen niet meer vatbaar voor behandeling met de uitdrukkingsmiddelen van de omgangstaal en zelfs niet met die van de wijsgerige vaktaal; ze vereisten een subtieler instrument, dat alleen de mathesis tot haar beschikking kon stellen.

G. Galilei in conflict met de kerk[49]

153. Het zal menigen lezer wellicht verwonderd hebben, dat wij in het overzicht van de ontwikkeling der astronomie, waarmee we dit hoofdstuk begonnen, naast Copernicus, Tycho Brahe en Kepler niet ook Galilei hebben genoemd, wiens reputatie als astronoom in de zeventiende eeuw de hunne evenaarde en wiens naam ook tegenwoordig nog bij velen als eerste in de gedachte komt, wanneer er sprake is van de vernieuwing die de astronomie door de invoering van het heliocentrische stelsel heeft ondergaan. Dat we daar over hem zwegen, had vooral dezen grond, dat zijn verdiensten van zo gans anderen aard zijn dan die van de drie figuren die we wèl behandelden. Noch op het stuk van verstelseling der astronomische feiten noch op dat der exact metende waarneming kan hij met een van hen op een lijn worden gesteld. Zijn activiteit lag op ander, meer physisch gebied en kan pas naar waarde worden geschat, nu we in de voorafgaande paragraphen iets over de ontwikkeling der mechanica hebben vernomen. We hebben daar gezien, hoe zijn beschouwingen over traagheid, relativiteit en samenstelling van bewegingen er voor een groot deel op gericht waren, de bezwaren van physischen aard die tegen het denkbeeld van een aardbeweging plachten te worden aangevoerd, te weerleggen. Wat hij op dit gebied bereikt heeft, is indirect natuurlijk ten zeerste aan de astronomie ten goede gekomen, doordat het de aanvaarding van het Copernicaanse stelsel heeft bevorderd en het ontstaan van een mechanica der hemelbewegingen heeft voorbereid. Het behoort echter niet tot wat in de zeventiende eeuw onder astronomie werd verstaan.

154. Dat deden wèl de waarnemingen die hij met den kijker verrichtte. Hij is de eerste geweest, die met behulp van dit kort geleden in de Nederlanden uitgevonden instrument ontdekkingen aan den hemel heeft gedaan, die, behalve hun waarde als feiten, voor hem de grote subjectieve betekenis bezaten, dat zij hem versterkten in zijn overtuiging van de juistheid van het stelsel van Copernicus en hem er toe dreven, de openlijke

verdediging van dat stelsel ter hand te nemen. Dat heeft toen geleid tot het befaamde conflict met de Inquisitie, dat in zijn eigen tijd zoveel beroering heeft verwekt en dat nog tegenwoordig de geesten vervult en de meningen verdeeld houdt. Daardoor neemt hij in de geschiedenis, niet alleen van de natuurwetenschappen, maar ook in die van de cultuur in het algemeen, een uitzonderlijke positie in, die we hier tot uiting brengen door nogmaals een afzonderlijke paragraaf aan hem te wijden, waarin dan tevens zijn werk als astronoom kort kan worden weergegeven.

155. In het jaar 1610 werd de geleerde wereld in opschudding gebracht door het verschijnen van Galilei's werkje *Nuncius Sidereus* of *Sterrenboodschap* (zo, niet als *Sterrenbode* is volgens zijn eigen latere toelichting[50] het woord te verstaan), waarin hij de ontdekkingen beschreef die hij met den kijker aan den hemel gedaan had: het maanoppervlak vertoonde grote oneffenheden, die er een aardachtig karakter aan gaven, de melkweg en enkele nevelvlekken losten zich op in verzamelingen van kleine sterren en de planeet Jupiter bleek manen te bezitten. Er bestond voor die opschudding alle reden. Niet dat het allemaal ongehoorde feiten waren, waarover hij berichtte. Plutarchus had in zijn werk *De facie in orbe lunae* reeds op de physische verwantschap van maan en aarde gewezen en het vermoeden, dat de melkweg uit een groot aantal sterren zou bestaan, was in de Oudheid ook al wel geopperd. Maar het is iets anders, mee te delen, deze dingen werkelijk te hebben gezien dan ze op speculatieve wijze te onderstellen. En dat Jupiter manen zou bezitten, had nooit iemand vermoed. Bovendien was de aardachtigheid van de maan een bewering, die in strijd was met de Aristotelische physica, waarin ook het laagste hemellichaam toch altijd nog essentieel van de aarde verschilde. En dat Jupiter manen had, vormde weliswaar geen rechtstreeks argument tegen het stelsel van Ptolemaios, waarin, als er voor bewegingen van planeten om cirkelvormig bewegende punten plaats was, bewegingen van manen om planeten toch zeker wel konden worden aangenomen, maar het belette de tegenstanders van Copernicus, het nog langer onmogelijk te noemen, dat de aarde in haar wenteling om de zon haar maan met zich mee zou kunnen voeren.

In hetzelfde jaar waarin de *Nuncius Sidereus* verscheen, voegde Galilei aan de daarin beschreven ontdekkingen die van de phasen van Venus toe, terwijl hij tevens bekend maakte, dat de planeet Saturnus zich in den kijker vertoonde als uit drie stukken bestaande (de eerste waarneming van wat Huygens als een ring om de planeet zou zien).

156. De mededelingen van Galilei vonden over het algemeen aanvankelijk weinig geloof. Dat is niet zo onbegrijpelijk en schandelijk, als het in populaire geschriften wel eens wordt voorgesteld. Vooreerst was de kijker een volkomen onbekend instrument, waarvan niemand de werking begreep. Galilei zelf ook niet; hij had het instrument niet alleen niet uitgevonden, zoals hij in den titel van den *Nuncius* beweerde, maar hij was ook

te weinig bedreven in de optica om zich rekenschap te kunnen geven van de beginselen waarop de werking berust en wanneer hij zegt, dat hij zich bij de constructie heeft laten leiden door de leer der breking, dan is dat waarschijnlijk niet veel meer dan grootspraak. Bovendien was bij een demonstratie die hij te Bologna ten huize van den astronoom Magini gegeven had, geen der aanwezigen in staat geweest, een van de manen van Jupiter, die hij beweerde waargenomen te hebben, te ontwaren; als men bedenkt, hoe primitief het instrument en hoe volkomen ongeoefend in telescopisch waarnemen het gezelschap nog geweest moet zijn, behoeft men ter verklaring daarvan niet eens kwade trouw aan te nemen. De algemene opvatting was dan ook weldra, dat wanneer iemand de mediceïsche sterren (zo had Galilei de manen ter ere van het Florentijnse vorstenhuis genoemd) wèl in den kijker kon zien, ze zeker wel op een of andere manier in het glas zouden zitten.

157. Galilei beschouwde zijn ontdekkingen als even zovele argumenten voor het Copernicaanse wereldstelsel. Dat waren ze, objectief beschouwd, natuurlijk niet. Er was er geen bij, waarvan men in het stelsel van Ptolemaios geen rekenschap zou hebben kunnen geven. Ze konden dienen om de ongegrondheid van zekere bezwaren tegen Copernicus aan te tonen en ze staan in zoverre dus op een lijn met de physische beschouwingen over aardbeweging die we in de voorafgaande paragraphen hebben leren kennen, dat ze samen met deze tot het inzicht in de wetenschappelijke houdbaarheid van het heliocentrische wereldbeeld konden, ja moesten, leiden. Tot de aanvaarding daarvan verplichten konden ze echter niet.

De kwestie van de aardbeweging - daarom en niet om het zuiver astronomische probleem, hoe men de planetenbeweging het eenvoudigst kon redden, werd eigenlijk de gehele strijd gevoerd - was echter niet alleen van natuurwetenschappelijken aard; ze hing onverbrekelijk samen met vragen van wereldbeschouwelijk en daardoor ook van theologisch karakter en beroerde dus de gemoederen veel heftiger dan een zuiver vakwetenschappelijke aangelegenheid ooit zou hebben kunnen doen.

Het poneren van de aardbeweging, niet als een mathematische kunstgreep ter vereenvoudiging van de berekeningen der astronomen, maar als een physische realiteit - het was duidelijk, dat Galilei dit beoogde en dat de verzoeningspoging van Osiander op hem geen vat had gehad - beduidde namelijk een in den wortel aantasten van het Aristotelisch-Thomistisch wereldbeeld, dat met de Christelijke geloofsleer in eenzelfden metaphysischen bodem verankerd lag en moest dus behalve, van de zijde van astronomen die hun wetenschap niet van hun wereldbeschouwing gescheiden konden of wilden houden, ook van die der theologen afweerreacties uitlokken. Er werd hier zo diep ingegrepen in voorstellingen die van wezenlijke betekenis leken voor het religieuse leven - reeds dadelijk de ruimtelijke uitzonderingspositie in de wereld van het toneel

waarop zich het drama van de menswording Gods en de verlossing der mensheid had afgespeeld - dat een in de objectieve spheer der zuivere wetenschap verlopende discussie nauwelijks kon worden verwacht.

158. Deze is dan ook uitgebleven: in alle landen waar de mare van het nieuwe wereldstelsel doordrong, hebben de theologen zich instinctief bedreigd gevoeld in hun heiligste goederen en overal hebben zij zich tegen de heliocentrische gedachte teweergesteld. Daar zij zich daarbij voornamelijk beriepen op plaatsen uit de H. Schrift waar het stilstaan van de aarde in het centrum der wereld ondubbelzinnig uitgesproken scheen te staan (b.v. Josua 10:12; Ps. 18:6; Ps. 103:5; Eccl. 1:4)[51], werd een aangelegenheid die op zuiver natuurwetenschappelijke gronden behandeld had behoren te worden, vermengd met kwesties van schriftinterpretatie en daardoor onredbaar vertroebeld.

In de meeste gevallen heeft de theologische oppositie niet veel meer uitwerking gehad dan dat ze de ontwikkeling der heliocentrische astronomie min of meer vertraagd heeft en aan haar verdedigers enige onaangenaamheden heeft bezorgd. Dat ze daarentegen in het geval van Galilei tot een conflict van wereldhistorische betekenis heeft gevoerd, berust op gronden die ten dele van wezenlijken, ten dele van bijkomstigen aard zijn. Tot de bijkomstige kan men de persoonlijke veten rekenen die het verloop van de zaak hebben beïnvloed en waaraan het fel polemisch optreden dat Galilei steeds gekenmerkt heeft, wel niet vreemd zal zijn geweest; tot de wezenlijke, dat hij als Katholiek in geloofsaangelegenheden onderworpen was aan het gezag der kerkelijke overheid en dat het hem als leek niet, zoals den Protestant Kepler, vrijstond, zich te mengen in methodische vragen over de interpretatie van de H. Schrift en nog minder, een eigen interpretatie van de Bijbelteksten die op den toestand van rust of beweging der aarde betrekking hebben, voor de officieel aanvaarde in de plaats te willen stellen.

159. Dat het H. Officie aanleiding vond, zich met de zaak te bemoeien, toen zij te Florence eenmaal tot openlijk schandaal gevoerd had, is begrijpelijk. De wijze waarop dit geschied is, getuigt echter van een onvoldoend inzicht in de ware betekenis van de opgeworpen kwestie en van de draagwijdte die de genomen beslissing zou blijken te bezitten. Op 24 Februari 1616 werd namelijk over de twee hieronder vermelde stellingen, waarin men blijkbaar het wezenlijke van het Copernicaanse stelsel meende samengevat te hebben, de volgende uitspraak gedaan:

> *Ten eerste: De zon is het centrum der wereld en geheel onbeweeglijk in plaatselijke beweging*.
> *Oordeel: Allen hebben gezegd, dat de genoemde propositie dwaas en absurd is in de philosophie en formeel ketters, in zoverre als zij uitdrukkelijk in tegenspraak is met uitspraken, die de H. Schrift op vele plaatsen volgens de betekenis der woorden en volgens de gebruikelijke verklaring en uitlegging van de Heilige Vaders en de doctoren der theologie doet*.

Ten tweede: De aarde is niet het centrum der wereld en ook niet onbeweeglijk, maar zij beweegt zich als geheel en ook met een dagelijkse beweging.
Oordeel: Allen hebben gezegd, dat deze propositie hetzelfde oordeel krijgt in de philosophie en dat zij, wat de theologische waarheid betreft, op zijn minst een dwaling in het geloof beduidt.

Het heeft het H. Officie wel zeer aan hogere leiding ontbroken, toen het deze uitspraak deed. Door verband te leggen tussen natuurwetenschappelijke stellingen die uiteraard in de toekomst even zeer vatbaar waren voor weerlegging als voor bevestiging, en een geloof dat per definitionem geen weerlegging behoefde te vrezen en geen bevestiging van node had, opende het de mogelijkheid, dat de verdere ontwikkeling der natuurwetenschap het geloof kon compromitteren, welke mogelijkheid al heel spoedig werkelijkheid zou worden. Dat het college zich niet heeft bekreund om de vraag, of het door de genomen beslissing de beoefening der wetenschap, die toch een legitieme geestelijke functie van den menselijken geest is, ook in den weg stond, mag geen aanleiding tot verwijt zijn; de bevordering der wetenschap maakte geen deel uit van de verstrekte opdracht. Dat het echter zo lichtzinnig heeft gehandeld ten aanzien van het bezit, tot bescherming waarvan het uitdrukkelijk was ingesteld, heeft ten allen tijde trouwe zonen der Kerk - waarvoor Blaise Pascal als voorbeeld genoemd kan worden - vervuld met machteloze ergernis, die tot verbittering uitgroeide, toen zij zagen, met hoeveel graagte haar vijanden er wapens uit smeedden om haar te bestrijden.

160. Het was niet meer dan een logische consequentie van de genomen beslissing, dat het werk *De Revolutionibus* van Copernicus in afwachting van verbetering werd geschorst en evenzo, dat Galilei het bevel kreeg, de gecensureerde opinie op te geven en hem verboden werd, haar op enigerlei wijze in woord of geschrift te houden, te leren of te verdedigen. Volgens het niet geheel duidelijke proces-verbaal van de mededeling van dit gebod heeft Galilei er zich bij neergelegd en beloofd te zullen gehoorzamen[51].

Wanneer hij die belofte inderdaad heeft afgelegd, lijdt het geen twijfel, dat hij haar ook gebroken heeft. De *Dialogo sopra i due massimi sistemi del Mondo, Tolemaico e Copernicano*, die hij in 1632 liet verschijnen, is één ononderbroken en onomwonden verdediging van het Copernicaanse stelsel, waarin de hier en daar op bevel van den Pauselijken censor ingelaste verklaringen, dat de auteur niet beweren wil, wat hij ten duidelijkste al maar door beweert, dat namelijk het Copernicaanse stelsel de waarheid bevat en dat slechts domheid en achterlijkheid dat kunnen ontkennen, meer honend dan verzoenend werken.

Dat de Inquisitie zich, ondanks het feit, dat het Imprimatur verleend was, bij het verschijnen van dit werk niet heeft neergelegd, is weer ten volle begrijpelijk. Maar aan de wijsheid en den tact, die de even gecompliceerde als delicate situatie vereiste, heeft het de leiding der Kerk in

1633 in nog veel hogere mate ontbroken dan toen zeventien jaar geleden de fatale beslissing viel, waaruit zij was voortgevloeid. Men kan overtuigd zijn, dat het Galilei-proces anders verlopen zou zijn wanneer het inplaats van door Paus Urbanus VIII door een figuur van het formaat van Thomas van Aquino was bestuurd. Natuurlijk zou er wel een modus hebben kunnen worden gevonden om het conflict in verzoenenden geest te beslechten en daardoor de harmonie tussen geloof en wetenschap, die de Kerk steeds zozeer ter harte is gegaan, te redden. Inplaats daarvan heeft men een ouden man tot een smadelijke herroeping gedwongen, waarin hij alles terugnam wat hij eens met al de kracht van zijn schitterenden geest en zijn vurige ziel beleden had.

161. Men noemt Galilei wel eens een martelaar der wetenschap. Wie dat doet, kent het verloop van het Galilei-proces niet of hij weet niet wat een martelaar is. Galilei heeft zich het gehele proces door juist als het tegenovergestelde van een martelaar gedragen; hij heeft alles gedaan wat hij kon om zich vrij te pleiten van een schuld die hij in formelen zin ongetwijfeld op zich had geladen, namelijk de verdediging van het Copernicaanse stelsel, en hij is daarbij niet teruggedeinsd voor de meest abjecte zelfvernedering. Niemand heeft het recht, hem hiervan een verwijt te maken; wetenschappelijke overtuiging inspireert nu eenmaal minder gemakkelijk tot heroïsme dan geloof. Men moet echter de categorieën niet verwarren en hem niet eren voor een houding die men beter doet te versluieren. Wel kunnen alle partijen hem voor die houding dankbaar zijn: de R.K. Kerk, omdat zij niet gedwongen is geweest tot de consequenties waartoe standvastigheid van den aangeklaagde haar zou moeten hebben voeren; de natuurwetenschap, omdat hij haar in de jaren die hem na het proces nog gegund waren, de schoonste vrucht van zijn geest, de *Discorsi*, geschonken heeft.

162. Er is in het gehele Galilei-proces slechts één wijs man geweest, de kardinaal Bellarminus. Reeds een jaar voor de beslissing van 1616 gaf deze in een brief[52] aan den Carmeliet Foscarini aan hem en Galilei den raad, het Copernicaanse stelsel *ex suppositione* te behandelen, dus alleen te betogen, dat de verschijnselen der planeten eenvoudiger te redden zijn, wanneer men de zon dan wanneer men de aarde als wereldcentrum kiest. Met het oog op de moeilijkheden die van theologische zijde waren opgeworpen, achtte hij het de aangewezen gedragslijn om, zolang er geen doorslaggevende bewijzen voor de aardbeweging geleverd waren, op deze wijze de astronomie ongestoord te blijven beoefenen en de harmonie met het geloof in stand te houden. Galilei echter, overtuigd als hij was, dat hij die bewijzen wel bezat (waarin hij, zoals we thans weten, dwaalde) was voor dit soort wijsheid, die dezelfde was als die van Osiander, nu juist helemaal ongevoelig en zo hij al ooit getracht heeft, er naar te handelen, heeft hij het toch niet van zichzelf kunnen verkrijgen, dit te blijven doen. [53]

Eindnoten:

1 Dijksterhuis (6).
2 Beeckman-de Waard, Dijksterhuis (1), De Waard (3).
3 Beeckman, *Journael* I 262.
4 Beeckman, *Journael* I 264.
5 Beeckman, *Journael* I 10, 24-25, 44, 157, 253.
6 Beeckman, *Journael* I 24-25.

7 Duhem (1), Dijksterhuis (1), Koyré (1) (2), Olschki (2).
8 Mieli 258-59, n. 3.
9 Alle bewijsplaatsen voor het volgende bij Dijksterhuis (1).
10 Beeckman, *Journael* I 263-64.
11 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 260.
12 Galilei, Brief aan Ingoli. Ed. Naz. VI 545.
13 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 171. Verg. den brief aan Ingoli, Ed. Naz. VI 546.
14 Mach 131.
15 Galilei, *Discorsi* III. Ed. Naz. VIII 242.
16 Galilei, *Dialogo* I. Ed. Naz. VII 43, verg. 56.
17 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 171.
18 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 190.
19 Galilei, *Il Saggiatore* c. 38. Ed. Naz. VI 319.
20 Galilei, *Dialogo* II Ed. Naz. VII 168.
21 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 170.
22 Galilei, Ed. Naz. VI 545.
23 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 188.
24 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 214.
25 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 220.
26 Galilei, *Discorsi* I. Ed. Naz. VIII 139.
27 Galilei, *Discorsi* VI. Ed. Naz. VIII 319-346.
28 Dijksterhuis (1), Koyré (1) III.
29 Dijksterhuis (4).
30 Galilei, *Dialogo* III. Ed. Naz. VII 423.
31 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 217.
32 Galilei, *Il Saggiatore*. Ed. Naz. VI 232. Verg. Ed. Naz. XI 112-113. XVIII 295. XIX 625.
33 Galilei, *Dialogo* II. Ed. Naz. VII 250.
34 Dijksterhuis (1) 373-382.
35 Huygens, *De Vi Centrifuga*. Oeuvres XVI 259.
36 Huygens, *De Motu Corporum ex Percussione*. Avertissement. Oeuvres XVI 21.
37 Huygens, *Travaux divers de Statique et de Dynamique de* 1659 *à* 1661. Oeuvres XVI 421.
38 Huygens, *De Motu Corporum ex Percussione*. Oeuvres XVI 30-91.
39 Huygens, Ibidem. Prop. VI. Oeuvres XVI 49.
40 Huygens, Ibidem. Prop. VIII. Oeuvres XVI 53-65.
41 Huygens, Ibidem. Prop. XI. Oeuvres XVI 73.
42 Huygens, Ibidem. Appendice I. Oeuvres XVI 102, 116, 131.
43 Huygens, *Pièces concernant la question du 'Mouvement Absolu'*. Oeuvres XVI 221.
44 Koyré (1) I 9.
45 Huygens, *Pièces concernant la question du 'Mouvement Absolu'*. Oeuvres XVI 213-233.
46 Huygens, Ibidem. Oeuvres XVI 222, 231.
47 Huygens, Ibidem. Oeuvres XVI 216.
48 Huygens, Ibidem. Oeuvres XVI 226.
49 Bieberbach, Dessauer, Favaro, von Gebler, Grisar, Müller, Sherwood Taylor, Wohlwill.
50 Galilei, Ed. Naz. VI 389.
51 De nummering der psalmen is volgens de Vulgaat; in de Statenvertaling zijn de nummers één hoger.
52 Favaro 60-61.
53 Galilei, Ed. Naz. XII 171.

III. Physica, chemie en natuurphilosophie in de zeventiende eeuw

163. Het zou de overzichtelijkheid van den opbouw van dit werk ongetwijfeld ten goede komen, wanneer we thans op de boven gegeven schetsen van de hoofdlijnen waarlangs zich in de zeventiende eeuw de vakwetenschappen astronomie en mechanica ontwikkeld hebben, een soortgelijke behandeling voor de physica en de chemie konden laten volgen om eerst daarna kennis te gaan nemen van de denkbeelden die in dienzelfden tijd op natuurphilosophisch gebied zijn opgekomen en van de pogingen die in het werk zijn gesteld, een wereldbeeld te ontwerpen dat met de resultaten der vakwetenschappen in overeenstemming was.

Het verloop der gebeurtenissen stelt ons echter niet in staat, deze behoefte aan overzichtelijkheid te bevredigen. Er zijn weliswaar twee takken der physica aan te wijzen, hydrostatica en geometrische optica, die eenzelfde vakwetenschappelijke behandelingswijze gedogen als we boven voor mechanica en astronomie gegeven hebben, maar voor al haar andere onderdelen, alsmede voor de gehele chemie, is de beoefening die ze in de zeventiende eeuw ondervinden, te nauw met de ontwikkeling der natuurphilosophie verbonden dan dat ze onafhankelijk daarvan beschreven zou kunnen worden. In de discussies over de verklaring van de aërostatische verschijnselen komt dadelijk de natuurphilosophische vacuum-kwestie in het geding; in de warmteleer stelt men reeds de vraag, wat warmte eigenlijk is, voordat men nog de verschijnselen enigermate heeft leren kennen; in de leer van het magnetisme en in de physische optica is het phaenomenologisch onderzoek onontwarbaar met de opstelling van hypothesen over het wezen achter de verschijnselen verweven; en wat er in de chemie gedaan wordt is vrijwel uitsluitend van belang, omdat het zo nauw met het natuurphilosophisch probleem van de structuur der materie samenhangt.

Wij zullen daarom eerst volgens de tot dusver voor de zeventiende eeuw gevolgde behandelingswijze over hydrostatica en geometrische optica spreken (juist de twee takken, die zich reeds in de Oudheid onafhankelijk van de philosophie hadden gemaakt) om daarna de indeling naar vakken te vervangen door een groepering van de stof om enkele hoofdfiguren.

A. Hydrostatica

164. Wat de Archimedische leer van hefboomevenwicht en zwaartepunt voor de statica geweest is, een grondslag waarop bij de vernieuwing der natuurwetenschap kon worden voortgebouwd, omdat de bereikte resultaten juist waren en de toegepaste axiomatische methode met de heersende methodologische opvattingen strookte, heeft zijn werk over drijvende lichamen voor de hydrostatica betekend. Er zijn echter twee verschil-

punten: het bewijs dat hij voor de fundamentele, later naar hem genoemde wet over de opwaartse kracht die een in een vloeistof gedompeld lichaam ondervindt, gegeven had, miste de overtuigende werking die van zijn afleiding van de hefboomswet uitging en kon dus niet als deze in wezen onveranderd worden overgenomen; en de theorie der hydrostatische verschijnselen, met name die van het drijven van een lichaam in een vloeistof, was in de Middeleeuwen zo nauw verstrengeld geraakt met denkbeelden van de Aristotelische physica, dat zich talrijke misverstanden hadden ingeburgerd, die niet zo gemakkelijk uit te roeien waren.

165. De hervorming die het vak vereiste, is voornamelijk ingeleid door Stevin[1] en Galilei[2]. Stevin heeft als eerste na de Oudheid in zijn *Beghinselen des Waterwichts* (1586) een axiomatische behandeling gegeven en daarin de fundamentele wet van Archimedes op een zodanige wijze bewezen, dat er nog slechts geringe wijzigingen nodig waren, om haar geheel onafhankelijk te maken van de Aristotelische physica. Bovendien is aan hem het juiste inzicht te danken in de krachten die een vloeistof door haar gewicht op den bodem en de zijwanden van het vat waarin ze zich bevindt, uitoefent. Hij heeft aangetoond, dat de kracht op den bodem slechts afhangt van de oppervlakte daarvan, de hoogte waarop de vloeistof staat en haar soortelijk gewicht, maar niet van haar volume, en dit paradoxale resultaat experimenteel geverifieerd met een toestel, dat niet wezenlijk verschilt van het in het natuurkunde-onderwijs nog steeds gebruikelijke demonstratieapparaat. Over de kracht op den zijwand heeft hij resultaten afgeleid die aequivalent zijn met de stelling, dat de kracht die een vlakstuk in den zijwand ondervindt, even groot is als wanneer dit stuk horizontaal in de vloeistof lag op de hoogte van zijn zwaartepunt; en hij is er ook in geslaagd, de ligging van het aangrijpingspunt van deze kracht, het perspunt, te bepalen.

166. De verdiensten van Galilei liggen weer voornamelijk op het terrein, waarop hij ook voor de mechanica en de astronomie zoveel heeft gedaan: de verheldering van het physisch inzicht in de verschijnselen, het aankweken van een juiste physische intuïtie, de weerlegging van gangbare populaire misvattingen. Hij deed dit, naar aanleiding van een discussie over het drijven van lichamen waarin hij in 1611 gemengd was geworden, in zijn *Discorso delle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono* (Gesprek over de dingen, die boven op water blijven liggen of zich daarin bewegen) en in de antwoorden op de verschillende strijdschriften van peripatetische zijde die dit werk uitlokte.

167. De lijn die van Archimedes naar Stevin voerde, is doorgetrokken door Christiaan Huygens, die in een bij zijn leven niet gepubliceerd geschrift, *De iis quae liquido supernatant*[3] (Over de dingen, die in een vloeistof bovendrijven), vooreerst een op het axioma van Torricelli gebaseerde nieuwe behandeling van de grondslagen gaf en zich vervolgens, geinspireerd door de zeer gecompliceerde onderzoekingen die Archimedes

in het tweede deel van zijn werk over de drijvende lichamen over de stabiele drijfstanden van segmenten van omwentelingsparaboloïden had uitgevoerd, verdiepte in een studie van overeenkomstige problemen voor drijvende blokken. Evenals bij de mechanica het geval was geweest, werd hierin een zuiver mathematische behandeling opgevoerd tot een hoogte, die het algemene peil van ontwikkeling dat de experimentele physica in denzelfden tijd bereikt had, ver te boven gaat.

Intussen verkeerde de hydrostatica, als geheel beschouwd, nog in een min of meer chaotischen toestand. Zij beschikte over een vrij omvangrijk ervaringsmateriaal en het ontbrak niet aan pogingen om bepaalde groepen van bekende feiten theoretisch te verstelselen. Wat zij echter miste was het ene algemene gezichtspunt van waaruit men het gehele complex van verschijnselen (hydrostatische paradox, communicerende vaten, hydraulische pers, opwaartse kracht in een vloeistof, drijven, zweven en zinken) zou kunnen ordenen. Zij heeft dat gezichtspunt door toedoen van Blaise Pascal inderdaad gekregen; echter werd ze daarbij als bijzonder geval van een algemene statica van fluida behandeld waaronder ook de aërostatische verschijnselen begrepen konden worden. Daar wij hiermee eerst in een later stadium van ons verhaal kennis kunnen maken (IV: 261-277), zullen we ook de verdere bespreking der hydrostatica eerst nog moeten laten rusten.

B. Geometrische optica

168. Een van de weinigen die onmiddellijk na het verschijnen van Galilei's *Nuncius Sidereus* (IV: 155) grote waarde hechtten aan de daarin meegedeelde waarnemingen en die in afwachting van de gelegenheid tot eigen waarneming bereid waren, er vertrouwen aan te schenken, was Kepler, die in zijn *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*[4] (*Gesprek met den Sterrenbode*; zó vat hij den titel op) ernstig op het verslag der observaties inging en er de grote betekenis van in het licht stelde. Hij laat daarbij echter niet na, Galilei voor te houden, dat een verantwoord gebruik van den kijker slechts kan steunen op de kennis van een theorie van de werking en hij zet zich er dadelijk toe, zulk een theorie op te stellen. Dat vereiste voor hem slechts een voortzetting van het werk op optisch gebied, dat hij een zestal jaren eerder verricht had. In 1604 had hij namelijk de *Ad Vitellionem Paralipomena* (*Toevoegingen aan de Optica van Witelo*) *quibus Astronomiae Pars Optica traditur* laten verschijnen[5], waarin hij de werking van lenzen had behandeld en het proces van het zien had uitgelegd. In 1611 liet hij daarop de *Dioptrice*[6] volgen, waarvan de ondertitel speciaal de uitvinding van den verrekijker als aanleiding tot het schrijven van het werk vermeldt. Met deze twee geschriften begint de herleving van de geometrische optica.

169. Zoals de titel al uitdrukt, handelt het werk *Dioptrice* alleen over de

breking van het licht. Ondanks herhaalde pogingen was Kepler er niet in geslaagd, de juiste brekingswet op te sporen. Echter blijkt de betrekking die hij in de *Dioptrice* gebruikt, voor de kleine hoeken waartoe hij zich beperkt, met de latere sinuswet samen te vallen. Zij luidt namelijk als volgt: Valt een lichtstraal in lucht onder een hoek *i* met de normaal op het grensvlak met een optisch dichtere stof, dan bestaat er een constante verhouding tussen de deviatie *D* (die Kepler brekingshoek noemt) en den invalshoek *i*:

$D = \mu\, i.$ (1)

Volgens de sinuswet is: $\sin i / \sin r = n$ (2)

als *r* (die thans brekingshoek heet) den hoek van den gebroken straal met de normaal in het invalspunt aangeeft. Voor kleine hoeken is dit te schrijven als:

$i = n.r$ (3)

waaruit wegens $D = i - r$ volgt:

$D = n - 1/n\, i.$ (4)

Tussen de constante μ van Kepler en den brekingsindex *n* bestaat dus de betrekking:

$$\mu = n - 1/n \text{ of } n = 1/1 - \mu.$$

Voor glas en bergkristal geeft Kepler de waarde ⅓, overeenkomend met $n = 1{,}5$.

Daar de benaderingen die in de hedendaagse elementaire lenzentheorie worden toegepast, dezelfde strekking hebben als de overgang van (2) op (3), is het begrijpelijk, dat Kepler met behulp van de betrekking (1) de werking van lenzen en kijkers theoretisch kan behandelen. Men kan namelijk met behulp van (1) de formule voor den brandpuntsafstand van een dunne lens

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

in den vorm

$$\frac{1}{f} = \frac{\mu}{1 - \mu}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

afleiden en de formule voor de beeldvorming

$$1/f = 1/b + 1/v$$

vinden. Zover komt Kepler niet, maar door voor concrete gevallen den stralengang met behulp van (1) te vervolgen, vindt hij verscheidene speciale resultaten die men tegenwoordig uit de gevonden algemene formule afleidt. In het bijzonder slaagt hij er in, de werking van den door Galilei gebruikten Hollandsen kijker te behandelen, terwijl hij ook de theorie

van een kijker met een convex objectief en een convex oculair geeft en daardoor den astronomischen kijker in de optica invoert.

170. De juiste brekingswet is eerst later door Snellius in een ongepubliceerd manuscript[7] en door Descartes in *La Dioptrique*[8], een van de verhandelingen die als proefstuk aan het *Discours de la Méthode* zijn toegevoegd, aangegeven. Snellius beschouwt het geval (Fig. 38), dat een lichtpunt *V* op den bodem van een laag water een straal *VR* uitzendt die, in *R* gebroken, een oog *O* in lucht bereikt en nu uit het punt *I* schijnt te komen. Op

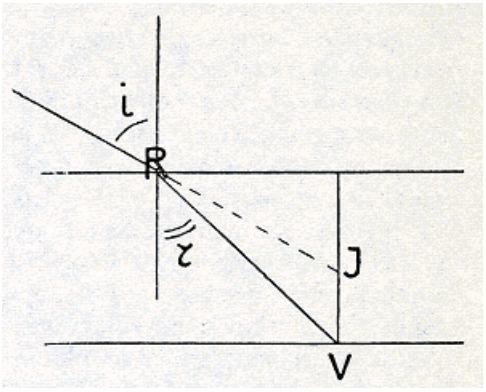


Fig. 38. De lichtbrekingswet volgens Snellius.

grond van talrijke experimenten komt hij nu tot de empirische stelling, dat er een constante verhouding bestaat tussen de lijnstukken *RV* en *RI*; deze verhouding is gelijk aan die van de sinussen der hoeken *i* en *r*. Bij Descartes (Fig 39) valt een lichtstraal *KB* uit lucht op het grensvlak met water en gaat voort langs *BI*. Hij poneert nu het constant zijn van de verhouding *KM*: *IG*, die blijkbaar ook gelijk is aan de verhouding sin *i*: sin *r*. Het is typerend voor de nog steeds overheersende geometrische instelling van het wiskundig denken, dat geen van beiden de formulering van de wet als constante verhouding van sinussen geeft.

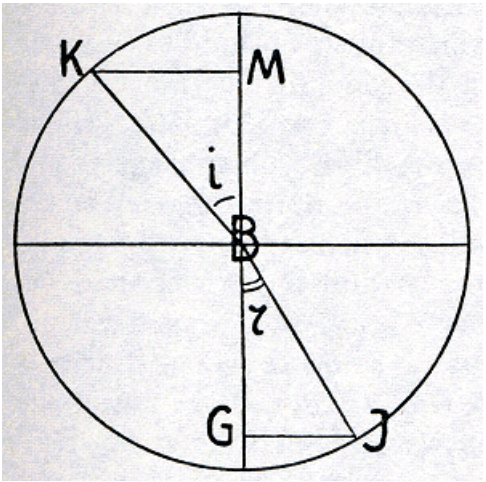


Fig. 39. De lichtbrekingswet volgens Descartes, *La Dioptrigue, Discours* II (*Oeuvres* VI 101).

Wij zeiden, dat Descartes zijn bewering poneert. Maar op welken grond doet hij dit? Dat is een vraag, die ons al dadelijk midden in de problematiek van het Cartesiaanse en daarmee van een groot deel van het zeventiende-eeuwse natuurwetenschappelijk denken voert Wij zullen er op terugkomen (IV: 216, 217), wanneer we in een volgend hoofdstuk in het algemeen zullen spreken over de wijze, waarop hij de natuurwetenschap beoefent en we volstaan thans met de mededeling, dat hij zeker

niet op grond van metingen tot zijn resultaat gekomen is. Hij vindt het niet eens nodig, het experimenteel te verifiëren. De enige functie die het experiment behoeft te vervullen, is de vaststelling van de numerieke waarde die de brekingsindex voor een bepaalde stof bezit.

Door de opstelling van de brekingswet was de grondslag gelegd voor de ontwikkeling die de geometrische optica in de zeventiende eeuw verder heeft doorgemaakt. Wij kunnen daar hier niet verder op ingaan en beperken ons dus tot de vaststelling, dat, dank zij het werk van verscheidene wis- en natuurkundigen als Cavalieri, Huygens en Barrow, tegen het einde der eeuw de theorie van de beeldvorming door lenzen en lenscombinaties reeds een aanzienlijke hoogte bereikt had. De theoretische behandeling vond een onmisbaar complement in de kunst van het lenzenslijpen, die ten dele door speciale technici, ten dele echter ook door de theoretici der optica of door astronomen zelf werd beoefend; Christiaan Huygens heeft er zich zelfs met voorliefde op toegelegd en er grote successen in behaald. Ook hierover kunnen we echter niet in details treden[9].

171. De constructie van telescopen en microscopen, die de vrucht van de ontwikkeling der geometrische optica was, is een factor van grote betekenis voor het tot stand komen van de klassieke natuurwetenschap geweest. Zij verlengde 's mensen blik in twee richtingen en maakte het hem daardoor mogelijk, zijn ervaringsmateriaal ontzaglijk uit te breiden. Van de micro-waarnemingen, die door het microscoop mogelijk waren geworden, profiteerde voorlopig de biologie meer dan de wetenschappen der anorganische natuur; het gebruik van kijkers bleef echter de astronomie verrijken, zoals het dat van de eerste jaren af gedaan had.

Zowel de micro- als de telescopische waarnemingen hadden, behalve hun practisch nut, de grote principiële betekenis voor het natuurwetenschappelijk denken, dat zij het bestaan van dingen onthulden waarvan nog nooit iemand had durven dromen en daardoor het vermoeden begonnen te wekken, dat de natuur wel eens veel rijker zou kunnen zijn dan de menselijke geest zich haar in zijn stoutmoedigste phantasieën voorspiegelde. Zij vormden daardoor een heilzaam antidotum tegen het gevaar, dat het succes waartoe de mathematische behandeling op axiomatischen grondslag voor sommige takken der natuurwetenschap had gevoerd, er toe zou verleiden, de kennis der natuur uit de eigen vermogens der rede te willen afleiden, haar bouw a priori te willen construeren. Dat dit gevaar allerminst denkbeeldig was, zal ons blijken wanneer we straks kennis zullen maken met de physische denkbeelden van Descartes. Alvorens tot hem over te gaan, spreken we echter eerst nog over de ontwikkeling die de empirische natuurwetenschap in de eerste helft van de zeventiende eeuw in Engeland heeft ondergaan.

C. William Gilbert[10]

172. De verschijning van het werk *De Magnete magneticisque corporibus et de magno magnete Tellure physiologia nova* (Nieuwe Natuurkunde van de magneet en de magnetische lichamen en van de grote magneet, de

Aarde) van den Engelsen arts William Gilbert stempelt het jaar 1600 naast de reeds vermelde 1543, 1586, 1609, 1638 tot een drempeljaar der nieuwe natuurwetenschap. Ook dit werk is namelijk een begin, niet zozeer van de leer van het magnetisme als wel van een empirische methode van natuuronderzoek, die aan deze leer als voorbeeld wordt gedemonstreerd. Het is wel een ander soort empirie dan die van Copernicus, Stevin, Kepler en Galilei, op wier werken de boven genoemde anni mirabiles betrekking hadden. Bij hen ging het er om, een voorhanden waarnemingsmateriaal mathematisch te bewerken of de consequenties van een mathematische theorie experimenteel te controleren. Bij Gilbert ontbreekt ieder verband met de wiskunde en de mechanica; er wordt alleen qualitatief geëxperimenteerd en niets gemeten. Maar er wordt ernst gemaakt met het methodische voorschrift, van proefondervindelijk vastgestelde feiten uit te gaan en niets op gezag voor waar aan te nemen dat niet door een proef bevestigd wordt. Ook krijgt men den indruk, dat alle beschreven proeven werkelijk uitgevoerd zijn, hetgeen, zoals we reeds hebben gezien (IV: 116, 132), in de zeventiende eeuw helemaal niet vanzelf spreekt.

173. Gilbert treedt bewust als vernieuwer op. Zoals in zovele werken uit dien tijd - men kan aan Patrizzi's *Nova de Universis Philosophia* en aan Kepler's *Astronomia Nova* denken en spoedig (IV: 185) zullen we Bacon's *Novum Organum* als een derde voorbeeld leren kennen - drukken ook bij hem de titels van zijn geschriften dat bewustzijn reeds uit. Het werk van 1600 heet *Physiologia Nova* en posthuum verscheen nog *De mundo nostro sublunari Philosophia nova*, dat in afzonderlijke hoofdstukken een nieuwe physiologie en een nieuwe meteorologie brengt ter vervanging van de Aristotelische. Niet uit boeken alleen, maar door de dingen zelf te laten spreken, wil hij blijkens de Voorrede van *De Magnete* de kennis van de natuur verwerven; beroep op autoriteit wordt niet als argument erkend; er zal niets beweerd worden, dat niet op herhaalde zorgvuldig uitgevoerde experimenten berust. De wijzen der Oudheid zullen de eer ontvangen, die hun toekomt, maar, zo klinkt het zelfbewust, ‘onze tijd heeft veel ontdekt en aan het licht gebracht, dat zij, zo ze nog leefden, gaarne zouden aanvaarden’[11]. Dat is andere taal dan die van het heimwee naar een legendair verleden, waarin de volmaakte wijsheid al eens bestaan zou hebben en dat we terug moeten trachten te vinden, taal, zoals we Roger Bacon hoorden spreken (II: 57) en zoals we van Stevin in zijn beschouwingen over den Wijsentijt kunnen vernemen.

174. Het zou onjuist zijn te menen, dat de experimenteel gefundeerde leer van het magnetisme bij Gilbert begint; hij werkt veeleer afrondend en samenvattend en de bijdrage die hij in *De Magnete* levert, kan, afgezien van het feit, dat hij niet volgens de axiomatische methode te werk gaat, het best vergeleken worden met wat Pascal in zijn *Traitez de l'Équilibre des Liqueurs et de la Pesanteur de l'Air* voor de hydro- en aërostatica zal doen (IV: 261-277). De elementaire magnetische verschijnselen waren

immers in de dertiende eeuw reeds door Petrus Peregrinus behandeld; sindsdien had het gebruik van het kompas in de scheepvaart de belangstelling in het magnetisme steeds in leven gehouden en tot verder onderzoek geprikkeld. In het eind van de vijftiende eeuw was de declinatie (in den regel variatie genoemd) reeds bekend, terwijl in de zestiende zowel de veranderlijkheid daarvan als het bestaan van de inclinatie (gewoonlijk als declinatie betiteld) ontdekt was. Ook waren er toestellen geconstrueerd om de beide aardmagnetische grootheden te meten. Gilbert heeft dan ook bij de samenstelling van zijn werk kunnen profiteren van oudere geschriften, waarin ook reeds dezelfde empirische instelling valt op te merken, die zijn methode kenmerkt. In het bijzonder heeft hij gebruik gemaakt van het in 1581 verschenen boekje *The New Attractive* van Robert Norman[12] en van het daaraan als appendix toegevoegde *Discourse of the Variation of the Compass or Magnetical Needle* van William Borough[13].

Beide geschriften waren uit de practijk gegroeid. Norman had lang op zee gevaren en zich daarna als kompasmaker gevestigd en Borough was een zeekapitein, die o.m. in den strijd tegen de Armada een oorlogsbodem had gecommandeerd.

175. Dat Gilbert bij het schrijven van zijn werk de stof al grotendeels klaar vond, doet geen afbreuk aan de historische betekenis die het bezit. Werkjes als dat van Norman behoorden tot dezelfde categorie als de talloze rekenboeken die de zestiende eeuw kent: door practici geschreven en geheel op de practijk ingesteld, bleven zij beneden het peil waarop zich de officiële wetenschap bewoog en buiten den gezichtskring van haar beoefenaars. Gilbert echter, hoewel ook tot dit gilde behorend, zag de wetenschappelijke waarde van de toegepaste methode en de bereikte resultaten in en verschafte er door zijn wel geheel op universitair niveau staand werk erkenning en waardering aan in de kringen die werken als het zijne lazen. Daardoor behoort hij tot de reeds eerder (III: 27) besproken groep van bemiddelaars tussen wetenschap en techniek, die bij de vernieuwing van het wetenschappelijk denken zulk een belangrijke functie hebben vervuld, doordat ze de beoefenaren der artes liberales, de spiegelaars, en die der artes mechanicae, de doenders, tot elkaar hebben gebracht, het theoretisch onderzoek aan de practijk van het leven ten goede hebben doen komen, het eerste hebben verrijkt door wat de tweede leerde en gestimuleerd door wat zij vroeg.

De zeevaart met haar behoefte aan wetenschappelijke voorlichting over plaatsbepaling op zee en aan constructie van betrouwbare meetinstrumenten is niet het enige gebied van practische werkzaamheid geweest dat Gilbert inspiratie en stof voor zijn werk verschaft heeft. Hij blijkt ook ten zeerste te hebben geprofiteerd van ervaringen die waren opgedaan in den mijnbouw en de metallurgie, speciaal in die van het ijzer, en in de practische toepassingen die in smederij en gieterij van dit metaal werden gemaakt. Niet alleen is hij goed op de hoogte met het fundamentele metal-

lurgische werk *De re metallica* van Agricola, maar blijkbaar is hij zelf ook wel op dit gebied werkzaam geweest.

176. Het werk *De Magnete* bevat in de eerste plaats een experimentele behandeling van de fundamentele magnetische eigenschappen, die, op de begrippen veldsterkte en krachtlijn en op de mathematische formulering na, zich niet wezenlijk onderscheidt van wat daarover in een hedendaags leerboek der natuurkunde is aan te treffen. Een opmerkelijk verschil, dat van principiële betekenis blijkt te zijn, bestaat hierin, dat Gilbert weinig met staafmagneten werkt, maar meer met magnetische bollen, hoewel hij heel goed weet, dat de eerste doelmatiger zijn. Wat de reden daarvan is, wordt duidelijk als men let op den naam waarmee hij zulke bollen aanduidt, *terrella* of μικρόγη, micro-aarde, en dezen in verband brengt met het inzicht, dat hij uitdrukkelijk als iets nieuws aankondigt, dat namelijk de aarde zelf een magneet is. De grote betekenis die hij aan dit inzicht hecht, berust niet alleen daarop, dat hij nu met behulp van den regel dat gelijknamige polen elkaar afstoten en ongelijknamige elkaar aantrekken, rekenschap kan geven van het feit, dat een beweeglijk opgestelde magneetnaald zich ongeveer in de richting Noord-Zuid stelt, maar ook op de mogelijkheid, uit waarnemingen aan de terrella iets te leren over de macro-magneet, die de aarde zelf is. In het bijzonder acht hij nu verklaard, waarom de aardas een onveranderlijken stand in de hemelruimte heeft; dit is, meent hij, in het groot niets anders dan in het klein het verschijnsel van de vaste richting van een draaibare magneetnaald.

Men moet oppassen, dat men in deze vergelijking niet meer leest dan er werkelijk in ligt. Het gaat hier niet om de verklaring van het feit, dat de aardas bij de wenteling van de aarde om de zon geen kegel-, maar een cylindermantel beschrijft. Dat zal eerst door Stevin in de *Wisconstighe Ghedachtenissen* als een zeilstenige stilstand worden opgevat. Gilbert is namelijk wel Copernicaan, maar slechts ten halve, zoals Oresme, d.w.z. hij aanvaardt wel de dagelijkse aardbeweging, maar spreekt zich over de jaarlijkse niet uit. De onveranderlijke stand van de aardas wordt dan ook alleen geponeerd tegen de theorie van den Bolognesen astronoom Domenico Maria da Novara, dat de poolshoogte sedert Ptolemaios met een bedrag van 1° 10′ zou zijn vermeerderd.

177. Een belangrijke trek van Gilbert's leer van het magnetisme wordt gevormd door het wezenlijke verschil dat gemaakt wordt tussen electrische en magnetische aantrekking, tussen de werking van een gewreven stuk barnsteen op een gemakkelijk beweeglijk voorwerp en die van een magneet op een stuk ijzer[14]. De eerste beschouwt hij als een echte eenzijdige attractie, de tweede als een *coitio*, een samenkomen van de beide lichamen. Het motief voor de onderscheiding blijkt dit te zijn, dat een magneet door steen of vlammen heen zijn werking blijft uitoefenen, terwijl hij blijkbaar nooit heeft kunnen constateren, dat electrische aantrekking ook door glas heen plaats vindt. Hij ontkent dit zelfs nadrukkelijk; hij heeft opgemerkt,

dat ze evenmin een dicht lichaam kan doordringen als zij kan werken door een vlam heen of als er een vlammetje in de buurt is. De laatste waarneming is blijkbaar het gevolg geweest van de ionisatie van de lucht, waardoor het geladen lichaam ontladen werd. De electrische verschijnselen trekken in het algemeen ook bij hem nog slechts in zeer geringe mate de aandacht, wat ongetwijfeld samenhangt met het volkomen gemis aan practische toepasbaarheid, die de magnetische wel bezaten.

Het gemaakte onderscheid heeft ten gevolge, dat er ter verklaring van de magnetische coitio een gans anders geaarde theorie nodig is dan voor de electrische attractie. De laatste kan worden toegeschreven aan de uitzending van een materieel effluvium, dat, als het een lichaam in de omgeving bereikt, dit - men verneemt niet hoe - naar de bron toetrekt. Met het lichaam zelf gebeurt daarbij inwendig niets. Voor magnetische coitio is echter nodig, dat het aangetrokken stuk ijzer tot in het innerste merg veranderd wordt en daardoor het vermogen verkrijgt, tot den magneet te naderen, die zijnerzijds hetzelfde doet.

178. Gilbert geeft zich alle mogelijke moeite, dit vermogen nader in woorden te omschrijven. Het is, vernemen we, een formele efficiëntie, een speciale primaire radicale astrale vorm. Men mag vooral niet denken aan de causa formalis van de Aristotelische wijsbegeerte of aan begrippen als sympathie, hemelse influentie of occulte qualiteit. Wanneer ijzer en magneet er naar streven samen te komen, dan is dat niet een violente neiging van het ene lichaam naar het andere, geen dol samenvloeien in het wilde weg, geen gevolg van dwang, strijd of tweedracht, maar een uiting van de overeenstemming zonder welke de wereld ineen zou storten, een gevolg van de wezenlijke gelijkheid tussen de delen en het geheel.

De opeenhoping van machteloze omschrijvingen typeert de verlegenheid, waarin een zestiende- of zeventiende-eeuwse physicus kwam te verkeren, wanneer hij wel reeds de verklaringsprincipes der Aristotelische natuurwetenschap had verworpen, maar de verklaringsbehoefte die er in de Middeleeuwen door bevredigd was geworden, nog bezat. Een gebruikelijke scholastieke opvatting van de magnetische aantrekking was deze geweest, dat de magneet met behulp van een zich bolvormig uitbreidende species magnetica in het ijzer een qualiteit verwekt, op grond waarvan dit naar vereniging met de magneet streeft en dat dit streven nu per accidens een locale beweging in het leven roept. Zo iets wordt in een tijd, waarin men van Aristoteles niets meer weten wil, als puur verbalisme beschouwd (wat het ook is), maar wat er voor in de plaats wordt gesteld, is niet veel anders en kan niet veel anders zijn, omdat hetzelfde onbereikbare doel, de penetratie van het wezen der dingen, erin wordt nagestreefd.

179. Gilbert neemt ten slotte zijn toevlucht tot een animistische theorie[15], waarmee hij een andere ook reeds oude traditie volgt. Thales had reeds aan een magneet een ziel toegekend; bij Arabische auteurs werd het feit, dat hij door koper heen kan werken en op den duur zijn vermogen verliest,

beschouwd als een bewijs, dat het magnetisme een geestelijke kracht is. Ook had Cusanus reeds gesproken van een in het ijzer zetelend verlangen naar vereniging met den magneet, waarin hij een analogon ziet van het streven van den menselijken geest naar de hoogste wijsheid[16]. Gilbert neemt in de magneet een ziel aan, die naar de wijze van de menselijke ziel gedacht moet worden en die deze in haar werking zelfs in zoverre te boven gaat, dat ze niet door de zinnen op een dwaalspoor kan worden geleid, maar met feilloze zekerheid werkt. Hoe ze dat doet wordt weer niet verteld, maar men moet het zich blijkbaar zo voorstellen, dat zij een in het ijzer sluimerende en met haar verwante psychische potentie tot leven wekt, zodat dit, met hetzelfde instinct als in de magneet zetelt, naar de coitio kan streven.

Het is duidelijk, dat hiermee evenmin iets werkelijk begrijpelijk was gemaakt als door een scholastieke qualiteit; het bevredigde alleen in zoverre meer, dat er een analogie was gevestigd met een evenmin begrijpbaar, maar door ervaring vertrouwd geworden verschijnsel, i.c. de psychische inwerking van den enen mens op den anderen, terwijl de Scholastiek zich met een meer abstracte formulering tevreden had gesteld.

180. Gilbert was wel degelijk een physicus waarover de geest der nieuwe natuurwetenschap vaardig was geworden; wanneer men echter zijn beschouwingen over het magnetisme leest, beseft men eerst ten volle, hoe oneindig veel sterker deze geest in Galilei leefde, toen hij er van afzag, naar het wezen der zwaarte te vragen en zich ten doel stelde, eerst maar eens te onderzoeken, hoe de bewegingen die men zich door datgene wat men zwaarte noemt, veroorzaakt denkt, eigenlijk verlopen. Had Gilbert hetzelfde methodische inzicht bezeten, dan zou hij zijn gaan meten, hoe de kracht, waarmee twee magneetpolen elkaar trekken of afstoten, van de sterkte van de polen en van hun afstand afhangt.

De gehele situatie is uiterst leerzaam voor de eminente betekenis die de wiskundig behandelde mechanica voor het ontstaan der zeventiende-eeuwse natuurwetenschap bezeten heeft. Gilbert, die er vreemd tegenover stond en die slechts qualitatief experimenteerde, was in zijn werk ongeveer aan het eind gekomen van wat men langs dezen weg over het magnetisme vinden kan. Eerst door toepassing van mechanische begrippen zou het quantitatieve element en daarmee een nieuwe problematiek in de theorie worden ingevoerd.

De animistische theorie van het magnetisme is bij Gilbert een onderdeel van een vitalistische theorie van de aarde. De aarde is de *mater communis*, de algemene moeder; haar inwendige wordt als moederschoot gedacht, waarin door condensatie van uitwasemingen uit het allerbinnenste de metalen groeien[17].

181. Uit alles blijkt wel, dat Gilbert ondanks de experimentele instelling, die hem nooit verlaat, wat den emotionelen achtergrond van zijn denken aangaat, veel meer tot de denkers van de Renaissance behoort dan tot de

mechanistische natuuronderzoekers van de eeuw, die *De Magnete* hielp inluiden. De gedachte, het heelal als een groot raderwerk te beschouwen, waardoor dode lichamen in het rond worden gevoerd en in God den groten mecaniciën te zien, die de machine in elkaar heeft gezet en haar doet functioneren, stuit hem tegen de borst. Hoe verachtelijk ware de toestand der aarde wanneer haar de waardigheid, een ziel te bezitten, die aan wormen en mieren wel gegund is, onthouden ware gebleven[18]. Alle kosmische lichamen zijn bezield; aan hun delen is een gevoel van saamhorigheid met het geheel eigen en wanneer ze ervan gescheiden zijn, streven ze naar hereniging.

Dit is blijkbaar dezelfde zwaartetheorie die we ook Copernicus zagen huldigen (IV: 4) en die nog niet de minste verwantschap vertoont met de latere pogingen, ook de zwaarte mechanisch te verklaren. Zij staat in zoverre los van de leer van het magnetisme, dat het niet in haar qualiteit van magneet is, dat de aarde het streven van een losgeraakt deel naar hereniging beantwoordt. Maar ze is er ook weer niet geheel onafhankelijk van. In *De Magnete* wordt althans gezegd, dat het magnetisme van de aarde een der oorzaken is, dat zij vast in elkaar zit en in haar binnenste aaneengelijmd is. De voornaamste oorzaak wordt hier verrassenderwijze als van electrischen aard beschouwd[19].

182. Het werk *De Magnete* heeft bij de grootsten onder de tijdgenoten onmiddellijk succes gehad. Galilei, die in den regel weinig las, bestudeerde het al in 1602 en doet er in den *Dialogo* uitvoerig verslag van[20]. Kepler, die zich door het vitalistisch element in Gilbert's theorieën sterk aangetrokken moet hebben gevoeld, maakt er in de *Astronomia Nova* op verschillende plaatsen gebruik van, o.m. reeds in de Inleiding[21], waar hij de zwaarte als een wederzijds streven naar vereniging van het verwante duidt en de magnetische aantrekking als analoog verschijnsel noemt; bevreemdend is echter, dat hij er onmiddellijk op laat volgen, dat men dus veeleer moet zeggen, dat de aarde een steen aantrekt, dan dat deze naar de aarde streeft, terwijl toch èn zijn juist voorafgaande definitie èn de analogie met de magnetische coitio de zegswijze, dat aarde en steen naar elkaar toestreven, schijnt voor te schrijven.

D. Francis Bacon[22]

183. Francis Bacon, Baron of Verulam, Viscount St. Alban, Lord High Chancellor of England, heeft geen enkele positieve bijdrage tot de wetenschap geleverd, en hij heeft van de verdiensten van anderen, die dat wel hadden gedaan, soms niets begrepen. Daarom noemt Koyré[23] het une mauvaise plaisanterie, hem als een der grondleggers van de nieuwe natuurwetenschap te beschouwen. Deze feiten beamend meent Louis Trenchard More[24], dat Bacon's naam als criticus en theoreticus niette-

min op de lijst van de grote creatieve figuren der zeventiende eeuw een plaats verdient.

Deze tegenstrijdigheid in het oordeel van twee van onze tijdgenoten is een symptoom van het onverzwakt voortduren van den strijd die om Bacon gevoerd is van het ogenblik af, dat Justus von Liebig in 1863 voor het eerst zijn prestaties op natuurwetenschappelijk gebied kritisch onderzocht en daarbij tot een vernietigende conclusie kwam[25]. Want telkens weer heeft men tegenover dit op zichzelf niet ongerechtvaardigd oordeel de betekenis van zijn critiek op het Aristotelisme geplaatst en gewezen op de waarde van zijn pleidooi voor de empirische methode, van zijn denkbeelden over organisatie van het wetenschappelijk onderzoek en van het door hem bewerkte nauwere contact tussen de wetenschap en de practijk van het leven.

Dat men het nog nooit eens is geworden, bewijst wel, dat beide partijen tot op zekere hoogte gelijk hebben. De eerste wellicht het meest: wanneer men Bacon en al zijn geschriften uit de geschiedenis wegdenkt, verdwijnt uit de natuurwetenschap geen enkel begrip, geen enkel resultaat. Daarentegen is zijn kritiek op Aristoteles niet veel meer dan de nagalm van een geluid dat de gehele zestiende eeuw door al te vernemen was geweest en verliest ze bovendien nog veel van haar principiële waarde, als men ziet, hoe sterk de criticus zelf nog in peripatetische denkwijzen bevangen is. En zijn methode van natuuronderzoek is in den vorm, waarin hij haar uiteenzet, noch door hemzelf noch door iemand anders ooit werkelijk toegepast en heeft dus nooit enig resultaat opgeleverd. Zodat aan dezen kant van de balans alleen het ontwerpen van plannen en het uitoefenen van invloed overblijven.

184. Dat lijkt wel wat weinig om het evenwicht tussen bewondering en geringschatting te verklaren, dat zich tot op den dag van heden heeft kunnen handhaven. Maar er ligt in de schaal der waardering dan ook nog iets dat we nog niet genoemd hebben: zijn stijl. Een grote litteraire begaafdheid en een brillant aphoristisch vermogen hebben hem in staat gesteld om aan denkbeelden over de juiste wijze van beoefening der natuurwetenschap die reeds lang gemeengoed van alle enigszins zelfstandige denkers waren geworden, een vorm te geven waarin ze voor altijd in het geheugen der mensheid ingeprent zouden blijven. Wanneer men hem leest, stuit men welhaast op elke bladzijde op een kernachtige spreuk, een tekenenden term of een verhelderend begrip en onder den invloed van zijn welsprekendheid komt men er gemakkelijk toe, de originaliteit van zijn gedachten te overschatten. Men ontmoet klassiek geworden uitspraken als *Antiquitas saeculi juventus mundi*[26] (De oudheid van den tijd is de jeugd der wereld), *Natura non nisi parendo vencitur*[27] (Men overwint de natuur slechts door haar te gehoorzamen), *Vere scire est per causas scire*[28] (Waarlijk weten is een weten op gronden). Men vindt de treffende vergelijking van den empirist met een mier, die niets doet dan verzamelen en gebruiken,

van den rationalist met een spin, webben wevend uit haar eigen substantie, en van den waren man der wetenschap met een bij, die, den gulden middenweg volgend, materiaal uit de bloemen van tuin en veld verzamelt en dit met behulp van eigen vermogens verteert en omvormt[29]. En men komt aan de onvergetelijke opsomming van de *idola*[30], de drogbeelden, die de beoefening der wetenschap vertroebelen, de *idola tribus* (van den stam), die aan den mens als zodanig eigen zijn, zoals de neiging tot overhaasting in het oordeel, tot overschatting van de argumenten die vóór een opgevatte mening pleiten, tot overschrijding van grenzen; de *idola specus* (van het hol), die voortvloeien uit zijn eigen persoonlijkheid, waarin hij als in een hol zit opgesloten; de *idola fori* (van het marktplein), die het gevolg zijn van een ondoordacht taalgebruik, van den waan dat met iederen naam ook een werkelijk bestaand ding moet corresponderen, van verwarring van de eigenlijke en de oneigenlijke betekenis van een woord; en ten slotte de *idola theatri* (van het theater), die teweeg worden gebracht door het decor, waarin het denken optreedt, d.w.z. van het philosophisch stelsel dat men gekozen heeft en dat een eigen wereld van schijn en verbeelding beduidt.

185. Dit zijn geen moeizaam bijeengegaarde, maar in het voorbijgaan uit een overstelpenden rijkdom samengelezen voorbeelden van helder inzicht en brillante zeggingskracht. Is het verwonderlijk, dat men de verwachting omtrent de daden van iemand die dit alles schrijft, zich hoog voelt spannen? En dat vooral wanneer men hem ziet optreden met een hervormersbewustzijn, waarnaast het gevoel van Gilbert, dat hij iets nieuws brengt, niet meer lijkt dan een vaag vermoeden. Het vignet van het *Novum Organum* - de titel is al een uitdagend program: *Organon* is immers de verzamelnaam van alle logische geschriften van Aristoteles; dit werktuig zal nu door een nieuw vervangen worden - verbeeldt een schip, dat na door de zuilen van Herakles (het legendaire einde der Oude Wereld, hier het beeld van de grenzen der Oude Wetenschap) heengevaren te zijn met volle zeilen koers zet naar het Nova Atlantis, de Nieuwe Wereld des geestes, die de schrijver, een tweede Columbus, zal gaan ontdekken. Hij heeft het gevoel, een nieuwe Openbaring te schrijven[31]: moge God ons toestaan, dat wij een Apokalyps en een nieuw waar visioen beschrijven van de sporen en tekenen, die de Schepper in het geschapene heeft achtergelaten. En moge Hij gedogen, dat het menselijk geslacht door onze handen en die van anderen, waaraan Hij denzelfden geest geschonken heeft, met een nieuwe Genade begiftigd wordt.

186. De weldaad die Bacon aan de mensheid zal gaan bewijzen, bestaat niet uit nieuwe kennis van de natuur, maar uit een nieuwe methode om die kennis te verwerven. Het is een methode die tussen empirisme en rationalisme, waarvan de rampzalige scheiding en tweedracht alles bedorven heeft, een duurzamen echt zal vestigen[32]. Daarvoor is echter voor alles de *humiliatio* van het intellect vereist: het moet tot nederigheid en

deemoed tegenover de natuur komen; het is een aanmatiging, de waarheid te willen vinden in de cellen van het menselijk brein; we moeten de dingen zelf laten spreken. Wanneer we ooit willen ingaan in het Koninkrijk van den Mens, dat gegrondvest zal zijn op de natuurwetenschap, zullen we aan dezelfde voorwaarde moeten voldoen die voor het binnentreden in het Koninkrijk der Hemelen gesteld is: als kinderen worden ten aanzien van de natuur, ontvankelijk, openstaand voor wat zij te zeggen heeft[33]. Het intellect, aan zich zelf overgelaten, vermag even weinig als de hand zonder werktuigen. Ook de geest heeft instrumenten van node, die aan het denken den weg wijzen en het voor dwaling behoeden. *Vestigia filo regenda sunt*: zijn voetstappen moeten, als door een draad van Ariadne, door een methode worden geleid om in het labyrinth van het heelal niet te verdwalen[34].

De methode eist dus voor alles een grote plaats op voor het empirisch onderzoek. Daartoe zijn nu echter ook weer de zinnen niet zonder hulp in staat. Zij schieten, ook al wordt hun werking door toestellen uitgebreid en verscherpt, in twee opzichten te kort: zij laten ons op een gegeven ogenblik in den steek of ze misleiden ons. Wat nodig is, zijn experimenten, die ter bereiking van het doel met bekwaamheid en volgens de regelen der kunst zijn bedacht en ingesteld. De zinnen zullen slechts over het experiment, dit echter over de dingen te oordelen hebben. Bacon vertrouwt, dat hij door dit alles uit te leggen het bruidsbed voor den menselijken geest en het Heelal heeft gespreid en versierd, dat Gods goedheid bruidleidster zal zijn en dat de nakomelingschap zal bestaan uit uitvindingen, die de noden en ellenden der mensheid zullen overwinnen en onderwerpen[35].

187. Laten we thans van het hoge litteraire niveau van Bacons uitdrukkingswijze afdalen tot de nuchterheid van natuurwetenschappelijk proza en ons rekenschap trachten te geven van wat zijn methode nu eigenlijk inhoudt.

De grondslag van ieder onderzoek bestaat in het systematisch verzamelen van waarnemingen die het te bestuderen verschijnsel (in Bacons terminologie: de bedoelde natuur) betreffen. Daartoe moeten drie lijsten worden aangelegd[36]: de eerste (*Tabula Essentiae et Praesentiae*) is de lijst der positieve gevallen, waarin zonder voorbarige speculaties, dus in opzettelijke bontheid, allerlei voorbeelden worden opgesomd, waarin het verschijnsel is opgetreden; de tweede, de lijst der negatieve gevallen (*Tabula Declinationis, sive Absentiae in proximo*) bevat de voorbeelden, waarin het, hoewel in schijnbaar verwante omstandigheden zich wel voordoend, is uitgebleven; en in de derde, die der graduele verschillen (*Tabula Graduum*), wordt opgegeven, hoe het in de positieve gevallen al naar omstandigheden in meerdere of mindere mate viel op te merken.

Wanneer het b.v. om het verschijnsel warmte gaat, dus om de natuur die in ons de gewaarwording opwekt die we met het woord warm aangeven, zullen in de eerste lijst zonnestralen, vuur, warme bronnen, het wrijven

van mineralen en het overgieten van ongebluste kalk met water komen te staan, in de tweede manestralen, water, koude winden en de lucht in een kelder in den zomer, terwijl in de derde vermeld zal worden, dat de dierlijke warmte toeneemt door inspanning, koorts, pijn en gebruik van wijn en dat de zonnewarmte van den stand van de zon afhangt[37].

Uit de aandachtige beschouwing van deze lijsten volgens een bepaalde techniek zal nu wat Bacon den vorm van de bestudeerde natuur noemt, haar essentie, haar quidditas of haar wet, kortom wat het eigenlijk is, kunnen worden afgeleid. Het is de bedoeling, dat dit een vrijwel automatisch verlopend proces zal zijn, dat geen speciale begaafdheid vereist en dat dus door iedereen ijverigen waarnemer verricht zal kunnen worden.

Voor de natuur warmte blijkt de vorm of wet beweging te zijn en wel een bepaald soort (Bacon onderscheidt er negentien)[38], dat nader omschreven wordt als een bedwongen expansieve beweging die inwerkt op de kleine deeltjes van het lichaam.

Men late zich door dit verrassende resultaat niet te zeer imponeren. Vooreerst is de kinetische opvatting van warmte in de zeventiende eeuw vrij algemeen verspreid en vervolgens is het wel duidelijk, dat zij helemaal niet door een bestudering van de lijsten is verkregen.

Bacon laat de mogelijkheid open, dat het drie lijsten-procédé niet tot een resultaat zal voeren. In dat geval staan krachtiger hulpmiddelen ter beschikking, waaronder vooral de lijst van voorkeurgevallen (*Praerogativae Instantiarum*) moet worden genoemd. Dit zijn gevallen, die door hun bijzonderen aard meer leren dan de gewone feiten uit de eerste lijst. Er bestaan zevenentwintig soorten van, die evenals de negentien bewegingsvormen elk een eigen typerenden naam hebben[39].

188. Er zijn vooral in de negentiende eeuw, waarin Bacon's denken sterken weerklank heeft gevonden, uitvoerige discussies gevoerd over het wezen en de waarde van de geschetste inductieve methode en over de positie van Bacon's vorm- of wetbegrip ten opzichte van de forma van Aristoteles en de wet der moderne natuurwetenschap. Dit alles doet voor het inzicht in de ontwikkeling van de natuurwetenschap in de zeventiende eeuw niet zo heel veel ter zake, omdat er geen geval bekend is waarin iemand werkelijk volgens de lijstenmethode te werk is gegaan en er iets door gevonden heeft dat men nog niet wist, terwijl ook het ingevoerde vormbegrip geen toepassing schijnt te hebben gevonden.

De experimentele natuurwetenschap is nooit beoefend op de wijze die Bacon voor den geest stond. Het experiment is geen mechanisch werktuig, dat, eenmaal in beweging gebracht, het werk verder zelf wel doet. Men experimenteert steeds van een vooropgesteld denkbeeld, zo mogelijk van een voorlopige theorie uit. Wetenschappelijke phantasie is een onmisbare voorwaarde; de proefneming beslist over haar houdbaarheid van haar ingevingen.

189. Is dus de invloed van de concrete uitwerking van Bacons gedachten

over de methode der natuurwetenschap slechts gering geweest, zo moet die van hun algemene strekking en van de beschouwingen over het beoogde doel, die er mee samenhangen, zeer hoog worden aangeslagen. Bacon heeft, zoals we nog zullen zien, in Engeland in hoge mate stimulerend op het natuuronderzoek gewerkt, terwijl hij door zijn pregnante formuleringen ook voor velen op het continent een heraut van den nieuwen tijd geweest is. Descartes, die zich met hem verwant voelde in de afwijzing van het Aristotelisme en in de hoge waardering van het bezit van een vaste methode, heeft hem zeer op prijs gesteld[40] en ook Huygens blijkt aan zijn gedachten grote waarde te hechten[41]. Beiden zien echter wel de eenzijdigheid van zijn exclusief-empirisch standpunt in.

Inderdaad komt in het gedroomde huwelijk van de empirie met de ratio de laatste wel schromelijk tekort. Bacon mist ieder inzicht in de betekenis van de wiskundige behandelingswijze der natuurwetenschap, die in den tijd, waarin hij leefde, reeds zo grote triomphen begon te vieren. Het moge onbillijk zijn hem, zoals vaak gebeurt[42], te verwijten, dat hij niets van de verdiensten van Galilei op het gebied der mechanica begrepen heeft (toen hiervan voor het eerst iets werd gepubliceerd, was hij namelijk al dood), men behoeft er niet aan te twijfelen, dat hij er niets van begrepen zou hebben, als hij ze wel gekend had. Zijn volkomen gemis aan begrip voor de verdiensten van Copernicus staat daar borg voor[42].

190. Het uiteindelijk doel der wetenschap is voor Bacon van practischen aard: verbetering van de levensomstandigheden, verlichting en zo mogelijk verdrijving van noden, zorg en leed. Voor het bereiken van dat doel is de natuurwetenschap onmisbaar: menselijk weten en menselijk kunnen, aldus een aphorisme uit het *Novum Organum*, gaan hand in hand, want waar de oorzaak niet bekend is, kan het effect niet verkregen worden[43]. Waarop dan het boven reeds geciteerde woord volgt, dat men de natuur moet gehoorzamen om haar te kunnen bevelen. Hij waarschuwt echter tegen overhaasting van de practische toepassing en tegen voorbarigheid in de beoordeling van het nut van een onderzoek. Dat is, zoals hij met een van zijn treffende beelden zegt[44], een appel van Atalanta, die den wedloop stoort.

Voor alles echter - hier vernemen we een bekend geluid - moet de band tussen natuurwetenschap en techniek worden versterkt. De techniek, wetenschappelijk gefundeerd, zal het aangezicht der wereld in de toekomst in nog veel hogere mate veranderen dan ze het, aan zich zelf overgelaten, in de afgelopen eeuwen door haar drie grootste prestaties, kompas, buskruit en boekdrukkunst, reeds gedaan heeft. En zij kan van haar kant de natuurwetenschap bevorderen, omdat men van de natuur meer te weten komt, wanneer zij onderworpen wordt aan de beproevingen en kwellingen die de mechanische kunsten haar opleggen, dan wanneer men haar vrij haar gang laat gaan[45]. Het eerste nodige is nu, dat de geleerde beren zich niet langer te goed zullen achten voor de mechanische kunsten

en zich althans open zullen stellen voor de ervaringskennis die zij kunnen leveren. Daarbij zijn vooral die kunsten van belang, waarin natuurlijke materialen worden veranderd: landbouw, chemie, ververij, kookkunst, bierbrouwerij, fabricage van glas, email, suiker, buskruit, vuurwerk, papier en derg. Daarnaast echter ook die werkzaamheden, die vaardigheid van de hand of gebruik van mechanische werktuigen vereisen, als weven, timmeren, bouwen, klokken en molens maken[46].

191. Bacon bepleit in dit verband de samenstelling van een History of Trades, die een pendant van de History of Creatures, d.i. de gewone Natuurlijke Historie, zou kunnen vormen, geen geschiedenis dus van techniek en ambacht, maar een encyclopaedie, waarin alle toegepaste procédé's zouden moeten worden beschreven en alle opgedane ervaringen vermeld[46]. Hij heeft er in zijn *Parasceve ad Historiam Naturalem et Experimentalem* zelf een begin mee gemaakt[47]; in den loop van de zeventiende eeuw zijn door zijn volgelingen nog vaak pogingen in het werk gesteld, het plan geheel tot uitvoering te brengen, maar er is nooit meer van tot stand gekomen dan enkele losse brokstukken[48].

De History of Trades zou een gedeeltelijke vergoeding zijn geweest voor het ontbreken van een georganiseerd natuuronderzoek door speciaal daartoe in het leven geroepen lichamen. Bacon heeft in zijn *New Atlantis* in details beschreven, hoe zulk een organisatie ingericht zou kunnen zijn[49]. Een groep samenwerkende geleerden, die in het Huis van Salomo hun centrum zouden vinden, zou de werkzaamheden als volgt onderling verdelen: sommigen zouden naar vreemde landen worden gezonden om zich op de hoogte te stellen van wat daar werd gedaan en om boeken te verzamelen, anderen zouden die boeken bestuderen en weer anderen verslag doen van wat in de mechanische en vrije kunsten aan het licht was gebracht. Er zou een groep worden belast met het doen van proeven, een met het invullen van de resultaten daarvan op de boven beschreven lijsten, die dan weer door een volgende zouden worden bestudeerd om er practische gevolgtrekkingen voor de wetenschap en het practische leven uit af te leiden. Een derde drietal groepen zou nieuwe proeven moeten bedenken en uitvoeren en ten slotte de algemeenste axiomata en aphorismen moeten formuleren, waarin ons hoogste weten over de natuur zou kunnen worden samengevat.

Wij zullen niet ingaan op de verwachtingen, die Bacon van dit natuurwetenschappelijk groepswerk koestert. Er is, zoals we aanstonds zullen zien, op korten termijn reeds het een en ander van in vervulling gegaan, terwijl andere toekomstbeelden, met name het gemeenschappelijk vervaardigen van vernielingswapens van ontzaglijke uitwerking, tot onzen tijd op verwerkelijking hebben moeten wachten.

192. De plaatsruimte staat ons niet toe, dieper op Bacons gedachten in te gaan. Een ding zal uit het meegedeelde echter wel gebleken zijn: dit is geen figuur, die men straffeloos negeert. Niets is gemakkelijker dan

zijn tekortkomingen breed uit te meten, zijn onbillijkheid in de beoordeling van de prestaties van anderen, zijn miskenning van de waarde der wiskunde, zijn steriliteit voor de bevordering der natuurwetenschap. Maar het geluid dat hij in het begin van de zeventiende eeuw heeft laten horen, wordt daardoor niet tot zwijgen gebracht en de bezielende invloed die van hem is uitgegaan, niet te niet gedaan.

Toen de Atheners eens verplicht waren, Sparta militair te ondersteunen, zonden zij in plaats van krijgslieden den manken dichter Tyrtaios. Voor den directen strijd was hij niets waard, maar door zijn krijgsliederen bezielde hij de Spartanen zozeer, dat zij de overwinning behaalden. Bacon is - om ook eens in zijn stijl te spreken - de Tyrtaios van de zeventiende-eeuwse natuurwetenschap geweest. Zonder haar zelf met concrete vondsten te verrijken, heeft hij talrijke anderen tot haar bevordering geïnspireerd.

193. In afwijking van wat het spreekwoord zegt, is Bacon als profeet van een nieuwe wetenschap vooral in zijn eigen land steeds in hoge ere gebleven. In de verschillende meer of minder formele natuurkundige genootschappen die in den loop der zeventiende eeuw in Engeland ontstonden, de bijeenkomsten in Gresham College, de eerst te Londen, daarna te Oxford vergaderende groep-Haak, waarover Wallis verslag doet en het Invisible College, waar Boyle over bericht[50], beoefende men de nieuwe experimentele philosophie met zijn beschouwingen als leidraad en toen in 1662 de officiële bundeling van al deze afzonderlijke activiteiten in de Royal Society tot stand kwam, bleven ook daar zijn denkbeelden leiding geven. Men zag dit instituut werkelijk als een verwezenlijking van het ideaal van georganiseerde wetenschappelijke samenwerking, dat in de *New Atlantis* geschetst was.

Natuurlijk leidde de practijk van het experimentele werk wel tot het inzicht, dat dit niet volgens het machinale procédé kon geschieden, dat Bacon in zijn lijstenmethode had aangegeven. Niet ten onrechte heeft Harvey van hem gezegd, dat hij over wetenschap schreef als de Lord High Chancellor die hij was. Zijn aanwijzingen voor de toepassing van de experimentele methode moesten eerst worden ontdaan van het abstracte, theoretische en wereldvreemde dat er aan kleefde, voordat de gezonde kern van zijn denkbeelden tot haar recht kon komen.

Van de vele Engelse natuuronderzoekers die de zeventiende eeuw telt, heeft daartoe niemand meer bijgedragen dan Robert Hooke, de latere Curator of Experiments van de Royal Society. Wat bij Bacon theorie was gebleven, werd bij hem in daden omgezet; tegenover de nukken der materie, die het werk van den experimentator belemmeren en die tussen slechts bedachte en werkelijk uitgevoerde proeven zulk een onmetelijken afstand scheppen, kon hij zijn uitgesproken experimentele begaafdheid stellen. De ontwikkeling die de experimenteerkunst, waarvoor hij in zijn posthume *General Sketch* een leidraad heeft nagelaten, in de zeventiende

eeuw heeft ondergaan, is voor een belangrijk deel zijn werk geweest.

De golf van belangstelling in experimentele natuurkunde, die in het zeventiende-eeuwse Engeland zowel geleerden als leken tot eigen waarneming en proefneming prikkelde, leidde ook in andere landen tot de vorming van genootschappen voor zelfstandig proefondervindelijk natuuronderzoek. In Italië ontwikkelde de door Leopold de' Medici in het leven geroepen Accademia del Cimento enkele jaren lang een grote activiteit en in Frankrijk groeide in 1666 uit de vroegere bijeenkomsten bij Etienne Pascal, Mersenne en de Montmor door het initiatief van Colbert de koninklijke Académie des Sciences, in wier werk Huygens zulk een belangrijk aandeel zou hebben.

Voor al deze activiteit vormden Bacons beschouwingen den methodologischen ondergrond, terwijl de (hierna nog te behandelen) natuurwetenschappelijke denkbeelden van Descartes en Gassend middelen aan de hand deden om van de veelheid der waargenomen feiten ook theoretisch rekenschap te geven. De betekenis van hun gezamenlijken invloed op de ontwikkeling der natuurwetenschap moet daarom hoog worden aangeslagen. Het jeugdig enthousiasme der proefondervindelijke natuurwetenschap had leiding nodig om niet in een stelselloos verzamelen van curiosa te ontaarden en dat de hedendaagse physicus geneigd is, de voorstellingen van Descartes phantastisch en die van Gassend naief te noemen en in Bacon slechts een raisonneur te zien, doet geen afbreuk aan het feit, dat zij gedrieën die leiding konden geven. De sterke opbloei dien de experimentele physica in de zeventiende eeuw vertoont, is daardoor in niet mindere mate aan hun theoretische beschouwingen te danken dan aan het vernuft en de bedrevenheid der experimentatoren.

E. Descartes[51]

194. Uit alles wat boven over de ontwikkeling van de astronomie, de mechanica, de hydrostatica en de geometrische optica gezegd is, zal reeds duidelijk zijn geworden, welk een aanzienlijke positie de wiskundige denkvorm in de natuurwetenschap der zeventiende eeuw inneemt. Ook weten we uit uitlatingen van Kepler en Galilei, hoe diep bij hen de overtuiging van het goede recht van haar overheersenden invloed geworteld was: zij dankt dezen niet zozeer aan de onmisbare diensten die zij bewijst als wel aan het feit, dat de structuur van de buitenwereld in wezen mathematisch van aard is en dat er tussen haar en het wiskundig denken van den menselijken geest van nature harmonie bestaat.

Men kan nu het standpunt waarop Descartes staat, niet beter omschrijven dan door te zeggen, dat hij, deze gedachte tot haar uiterste consequenties voerend, wiskunde en natuurwetenschap feitelijk vereenzelvigd heeft. De natuurwetenschap is niet alleen mathematisch van aard in den ruime-

ren zin, dat de wiskunde haar, in welke functie dan ook, dient, maar ook in den veel strikteren, dat de menselijke geest de kennis der natuur op denzelfden voet uit zich zelven voortbrengt als zij het de wiskunde doet.

Men kan nog verder gaan en hetzelfde van zijn wijsbegeerte zeggen. In een beroemde vergelijking van het systeem der wetenschappen met een boom[52] wordt de physica voorgesteld door den stam, die, in de metaphysica wortelend, daaraan de kracht ontleent, de takken mechanica, moraal en geneeskunst voort te brengen en te dragen. Over wiskunde wordt niet gesproken en over de fundering der metaphysica wordt evenmin iets gezegd. Zou de verklaring daarvan niet deze zijn dat het wiskundig denken, niet naar zijn inhoud, maar naar zijn vorm beschouwd, die fundering vormt?

Men moet, over Descartes sprekend, nooit den ontzaglijken invloed uit het oog verliezen, dien de geestelijke atmospheer der mathesis op hem uitoefent. Van jongs af heeft hij zich gegrepen gevoeld door de doorzichtige helderheid van haar betoogtrant, door de dwingende kracht van haar redeneringen, door het gevoel, hier nu iets te hebben dat men in absoluten zin kent, omdat men er volmaakt door heen ziet, kortom door de overtuiging die Galilei uitdrukt in de woorden, dat het kennen van den wiskundige wel *extensive*, naar den omvang, van Gods kennen verschilt, maar er *intensive*, naar de qualiteit, mee gelijkwaardig is[53]. En zijn gehele leven lang heeft hij deze fanatieke bewondering voor haar formele, haar methodische waarde behouden.

195. Wie de uitdrukking van deze bewondering zoekt in het werk dat ex officio over de methode van wetenschapsbeoefening handelt, het *Discours de la Méthode*, zal wellicht enige moeite hebben, haar daarin uitgesproken te vinden. Immers de formulering van de vier befaamde regels, die als leidraad voor het wetenschappelijk denken worden aanbevolen, wordt onmiddellijk voorafgegaan door de verklaring, dat de auteur in de Analyse der Ouden en de Algebra der Modernen juist niet de methode heeft kunnen vinden waaraan hij behoefte had[54]. De eerste is daarvoor te zeer gebonden aan de beschouwing van meetkundige figuren en de tweede is met haar vele regels en vreemde tekens meer een verwarde en duistere kunst die den geest hindert, dan een wetenschap die hem ontwikkelt. En weliswaar is de eerste denkregel, waarin verlangd wordt, dat men niets in zijn beweringen zal toelaten dat zich niet zo duidelijk en wèl-onderscheiden (*clairement et distinctement*) aan den geest aanbiedt, dat er niet de minste aanleiding bestaat, het in twijfel te trekken, blijkbaar door den stijl van het wiskundig denken geïnspireerd, maar de andere drie zijn zo vaag en algemeen gehouden, dat ze vooreerst verschillende interpretaties toelaten en dan nog weinig inhouden dat specifiek mathematisch van aard is. Niet ten onrechte heeft Leibniz ze leeg genoemd en ze gekarakteriseerd door de vergelijking, dat men aan een chemicus als methode zou aanbevelen: *sume quod debes, operare ut debes et habebis quod*

optas[55] (neem wat ge nemen moet, doe er mee, wat ge er mee doen moet en ge zult verkrijgen wat ge wenst).

196. Om echter de methode van Descartes werkelijk te leren kennen, moet men ook niet in de eerste plaats het charmante *Discours* lezen, dat meer een causerie is dan een tractaat, doch het reeds in 1629 samengestelde, maar eerst in 1701 in de *Opera Posthuma* gepubliceerde werk *Regulae ad Directionem Ingenii*[56]. Hierin vindt men namelijk een uiteenzetting van de z.g. Mathesis Universalis, die Descartes altijd als een van zijn grootste methodische vondsten is blijven beschouwen en die hij in alle natuurwetenschappen toegepast wenst te zien. Het blijkt[57], dat deze universele wiskunde identiek is met de in het begin der zeventiende eeuw door Vieta ingevoerde en door Descartes zelf verbeterde z.g. algebra speciosa, waarin inderdaad een eind werd gemaakt aan het gebruik van de talloze regels en het onpractische tekenschrift dat de zestiende-eeuwse algebra (die in het *Discours* die der Modernen heet in tegenstelling tot de Analyse der Ouden) ontsierde. Deze algebra speciosa is niets anders dan de voor ons reeds lang elementair geworden letteralgebra en ze wordt universele mathesis genoemd, omdat haar bewerkingen worden uitgevoerd zonder dat men behoeft te weten, wat de daarin voorkomende letters voorstellen, onbenoemde getallen of physische grootheden. En de methodische voorschriften die Descartes geeft, blijken dus onder meer voor alle wetenschappen die voor *mensura*, d.i. quantitatieve behandeling, vatbaar zijn, de toepassing van algebraische methoden voor te schrijven.

Naast de mensura wordt als kenmerk van vatbaarheid voor mathematische behandeling de *ordo* genoemd, de mogelijkheid, de optredende proposities te rangschikken in deductieve ketens, m.a.w. de verworven kennis te axiomatiseren. De Cartesiaanse methode beoogt dus inderdaad, alle natuurwetenschappelijk denken te laten plaats hebben volgens de wijze der wiskunde, door afleiding uit axiomata en door algebraische berekening.

197. Het hiermee opgestelde ideaal van mathematisering der natuurwetenschap vormt een werkprogram voor eeuwen, niet voor het leven van een enkeling. Reeds daarom behoeft men er zich niet over te verbazen, dat van de uitvoering ervan in het werk van Descartes zelf nog zo weinig te bespeuren is, dat men in zijn natuurwetenschappelijke geschriften in het bijzonder zo zelden berekeningen aantreft. Dat heeft bovendien nog een tweede oorzaak: wie in de zeventiende eeuw de wiskunde tot voertaal en instrument der natuurwetenschap wilde maken, stelde daarmee eisen aan haar eigen ontwikkeling waaraan ze eerst in den loop der eeuw langzamerhand zou beginnen te voldoen. Het ontbrak haar immers nog steeds aan de denkmiddelen om de veranderlijkheid van grootheden algebraisch uit te drukken en te behandelen. Men kon nog niet scherp omschrijven wat men met verschillende veel gebruikte natuurwetenschappelijke termen eigenlijk bedoelde; nog minder kon men met de grootheden die er

door werden aangeduid, rekenen; de term snelheid op zeker ogenblik van een veranderlijke beweging kan als een voorbeeld uit vele dienen. Nog steeds vormden de uit de Scholastiek afkomstige graphische methoden, die door de zeventiende-eeuwse wiskundigen weliswaar tot verdere ontwikkeling waren gebracht en met succes werden gehanteerd, maar nog geenszins tot den rang van een exacte werkwijze verheven waren, het voornaamste hulpmiddel voor de mathematische behandeling van natuurwetenschappelijke problemen en voorlopig was de mechanica het enige vak dat zich voor de toepassing daarvan leende.

198. De mathesis universalis moge voor Descartes in haar toepassing op de natuurwetenschap niet veel meer dan een ver verwijderd ideaal zijn gebleven, op een meer nabij liggend gebied, n.l. binnen de wiskunde zelf, heeft hij haar met groot succes verwerkelijkt en daarmee een van de belangrijkste bijdragen tot de ontwikkeling van het denken geleverd waarvan de wetenschapsgeschiedenis weet te berichten. Door namelijk de nieuwe symbolische algebra in de geometrie in te voeren, is hij de schepper geworden van de analytische meetkunde en daarmee de bewerker van een der meest essentiële vernieuwingen die de wiskunde ooit heeft ondergaan. Van dit ogenblik af had ook de meetkunde zich vrij gemaakt van den leiband der Ouden, waaraan zij nog steeds was blijven lopen. Ook haar geschiedenis gaat het voortaan niet meer om de herovering van wat de Oudheid eenmaal bezeten had, maar om het bewust betreden van nieuwe wegen. Het essay *La Géométrie*[58], waarin hij de nieuwe vondst uiteenzet, mag dan ook ten volle een proefstuk van de Cartesiaanse methode heten; men moet alleen niet proberen, er een toepassing van de vier denkregels van het *Discours*, waaraan het is toegevoegd, in te vinden. Het ware *Discours de la Méthode* bestaat immers uit de *Regulae ad Directionem Ingenii*.

199. Dat Descartes in de uitvoering van het concrete program der Mathesis Universalis in de natuurwetenschap niet ver gekomen is - het eigenlijke werk waarvan we boven reeds een gedeelte behandeld hebben, zou hier pas door Christiaan Huygens verricht worden - doet niets af aan de boven gegeven karakteristiek, dat hij zowel in zijn metaphysisch als in zijn natuurwetenschappelijk denken steeds als een mathematicus te werk is blijven gaan. Het behoort niet tot onze taak, hier over het eerste te spreken; om echter het tweede te kunnen behandelen, moeten we aan zijn metaphysisch stelsel één ding ontlenen. Het is de typerend Cartesiaanse opvatting, dat het wezen van het materiële bepaald wordt door het zuiver geometrisch kenmerk der extensie of uitgebreidheid: materie is het ruimtelijk uitgebreide en zij is, in den strikten zin van het woord zijn, niet meer dan dat. Zij schijnt wel meer te zijn: de stoffelijke lichamen waarover wij ervaring opdoen, hebben ook physische qualiteiten als kleur, reuk en smaak, hardheid, weekheid, brosheid enz., maar al deze woorden duiden slechts bewustzijnstoestanden aan waarmee wij op de aanwezigheid van

of het contact met bepaalde ruimtedelen reageren, het zijn subjectieve reacties die deze bij ons in het leven roepen, en die daarom geen onderwerp van natuurwetenschappelijke kennis kunnen zijn. Dat kunnen behalve de geometrische kenmerken der lichamen, meetkundige vorm en grootte, alleen de kinematische grootheden zijn die hun onderlingen bewegingstoestand bepalen. Physica is de leer der bewegende ruimtevormen en als zodanig kan zij, evengoed als de meetkunde, die zich met rustende ruimtevormen bezighoudt, uit a priori vaststaande axiomata worden gededuceerd. De menselijke geest brengt behalve de wiskunde ook de physica voort.

200. Juister is het te zeggen: een physica. Want terwijl de axiomata der wiskunde zich met onweerstaanbare kracht aan iedereen op dezelfde wijze opdringen, zijn er ten aanzien van vorm en bewegingstoestand van ruimtedelen tal van mogelijkheden denkbaar, waarmee verschillend geaarde werelden overeenstemmen. Hoe zal men tussen deze in beginsel gelijkwaardige mogelijkheden een keuze doen? Hier laat nu Descartes de zinlijke ervaring die hij pas nog met een groots gebaar de voordeur gewezen heeft, noodgedwongen toch weer door een achterdeur binnenkomen, omdat hij haar hulp nu niet langer ontberen kan. Zij moet uitmaken, welke der verschillende door de mathematische phantasie voort te brengen denkbaarheden in feite in de natuur gerealiseerd is of, wanneer slechts één bepaalde constitutie als de ware geponeerd wordt, controleren of dit terecht geschiedt.

Wanneer Descartes in de toekomst der wiskunde had kunnen zien, zou hij zijn opvatting door een aan de meetkunde ontleende vergelijking hebben kunnen verduidelijken: men kan, zou hij dan gezegd hebben, door van verschillende axiomastelsels uit te gaan, verschillende meetkunden produceren. Het is een zaak van empirie, na te gaan, welke van deze zich er het best toe leent, de ervaarbare structuur der buitenwereld te helpen uitdrukken. Welnu: ik kan uit kracht van het denken alleen ook verschillende natuurkunden voortbrengen; het experiment zal dan ook hier moeten uitmaken, welke van deze het meest met de gegeven werkelijkheid strookt. Een verwante gedachte was reeds door Galilei uitgesproken, toen hij in de *Discorsi* had opgemerkt[59], dat de bewegingsleer die hij aan het opbouwen was, haar geldigheid en bestaansrecht zou behouden, ook al bleek er in de natuur geen enkele beweging te zijn, die er aan beantwoordde; hij zou dan eenvoudig een physisch niet gerealiseerde mechanica hebben geconstrueerd.

201. Descartes heeft - helaas of gelukkig? - nooit meer dan die ene physica voortgebracht waarvan hij de overeenstemming met de ervaring staande houdt; bij de keuze van de axiomata waarop hij haar grondvest, zal hij dus toch wel reeds het oog gericht hebben moeten houden op het resultaat dat hij zich voorstelde met zijn deductie te bereiken en daar hij dat resultaat slechts zintuiglijk heeft kunnen ervaren, is het tot stand ge-

brachte wereldbeeld toch niet geheel een zelfstandig geestesproduct geweest. Als men deze restrictie aanvaardt, kan men zijn methode zien als een grootscheepse toepassing van de gecombineerde metodo risolutivo en metodo compositivo, van analyse en synthese, die gekenmerkt wordt door de eigenaardigheid, dat het analytische gedeelte tot onherkenbaar wordens toe is afgekort, omdat ze geen opzettelijke waarneming meer vereist; de natuurlijke ervaring is toereikend, de axiomata voor de synthese te leveren.

Het valt den hedendaagsen lezer, die gewend is, aan dit gedeelte van het proces der natuurwetenschappelijke begripsvorming meer tijd en moeite te zien besteden, wellicht niet gemakkelijk, de hiermee in beginsel omschreven Cartesiaanse wijze om de natuurwetenschap te beoefenen, als een ernstige bijdrage tot de methodenleer van het wetenschappelijk denken te beschouwen, terwijl hij zich ook niet goed meer kan indenken in de bekoring, waaronder het talloze natuuronderzoekers, en daaronder de meest scherpzinnige van de zeventiende eeuw, althans tijdelijk gebracht heeft.

202. Hoe groot deze bekoring wel was, moge blijken uit een uitlating van Christiaan Huygens, die in de jaren waarover hij schrijft, behalve den invloed van het werk, in zijn ouderlijk huis ook dien van de fascinerende persoonlijkheid van den Fransen wijsgeer moet hebben ondergaan[60]:

> Mr desCartes avoit trouvé la maniere de faire prendre ses conjectures et fictions pour des veritez. Et il arrivoit a ceux qui lisoient ses Principes de Philosophie quelque chose de semblable qu' a ceux qui lisent des Romans qui plaisent et font la mesme impression que des histoires veritables. La nouveautè des figures de ses petites particules et des tourbillons y font un grand agrement. Il me sembloit lorsque je lus ce livre des Principes pour la premiere fois que tout alloit le mieux du monde, et je croiois, quand j'y trouvois quelque difficultè, que c'etoit ma faute de ne pas bien comprendre sa pensée. Je n'avois que 15 à 16 ans. Mais y ayant du depuis decouvert de temps en temps des choses visiblement fausses, et d'autres tres peu vraisemblables je suis fort revenu de la preoccupation ou j'avois estè, et à l'heure qu'il est, je ne trouve presque rien que je puisse approuver comme vray dans toute la physique ni metaphysique, ni meteores.

De lichtelijk spottende woorden zijn geschreven in een tijd, waarin Huygens zich reeds van het Cartesianisme had vrijgemaakt (of liever: zich daarvan meende vrijgemaakt te hebben) maar men proeft er nog de sterkte van den aanvankelijk ontvangen indruk uit.

Deze moet voor alles hebben berust op de onvervaarde denkkracht en de overweldigende phantasie, waarmee Descartes het in de *Essays* van het *Discours de la Méthode* en de *Principia Philosophiae* klaarspeelde om, uitgaande van enkele als evident aangenomen inzichten, alle in zijn tijd bekende natuurverschijnselen te verklaren. Voor een aanzienlijk ander deel - en dit geldt dan speciaal voor hen die gelovige Cartesianen bleven - zal ze zeker haar oorsprong hebben gevonden in de eenheid van het

wereldbeeld waartoe zijn machtige geest natuurwetenschap, philosophie en religie had weten te verbinden; nu het nauwe verband dat in de Middeleeuwen tussen deze drie gebieden van geestelijk leven gelegd had kunnen worden, door de gebleken onhoudbaarheid van de Aristotelische physica en de verstarring van de scholastieke philosophie onherroepelijk te loor was gegaan, moet het op systematisch aangelegde geesten bevredigend hebben gewerkt, het op een schijnbaar vasten grondslag van redelijkheid hersteld te zien worden.

203. Haar betekenis voor de historische ontwikkeling der natuurwetenschap ontleent de Cartesiaanse physica voor alles daaraan, dat hier voor het eerst sedert de aanval op het systeem van Aristoteles begonnen was, een stelsel van natuurverklaring werd aangeboden dat het zijne in universaliteit evenaarde. Met Descartes vergeleken had Galilei, die zich tot een diepdringend onderzoek van enkele speciale fundamentele verschijnselen beperkt had en vragen naar het wezen daarvan als voorbarig had afgewezen en ontweken, fragmentarisch gewerkt (wat Descartes hem dan ook als tekortkoming aanrekent)[61]. De zelfbewuste wiskundige wijsgeer echter, overtuigd van het bezit van de ware methode voor alle vormen van wetenschappelijk onderzoek, stelde zijn eerzucht hoger; hij achtte zich in staat - het is de typisch scholastieke trek die, ondanks zijn heftige aanvallen op de middeleeuwse wijze om wijsbegeerte en natuurwetenschap te beoefenen, zo vaak bij hem op te merken is - een wereldbeeld te ontwerpen, dat in beginsel af was en waaraan nog slechts detailarbeid verricht zou behoeven te worden. Dat was een illusie, maar een die uiterst vruchtbaar is gebleken; zij stelde hem in staat, zijn tijdgenoten het doorzichtige ideaal van een redelijk stelsel van natuurverklaring voor ogen te stellen, dat op geen andere dan mathematische en mechanische inzichten een beroep zou doen; hij prikkelde hen tot navolging waar hij slaagde en tot verbetering waar zijn eigen pogingen mislukten. Daardoor hebben zijn aanhangers en zijn bestrijders in gelijke mate van hem geleerd.

Er kan hier geen sprake zijn van een gedetailleerde behandeling van de wijze waarop Descartes zijn beginselen van natuurverklaring in practijk brengt. Het is echter nodig, er althans de grote lijnen van te leren kennen.

204. Uit de identiteit van materie en ruimte, die den metaphysischen grondslag van het Cartesiaanse stelsel vormt, volgen al dadelijk een aantal consequenties: 1. de wereld is oneindig uitgebreid; 2. zij bestaat overal uit dezelfde materie; 3. de materie is tot in het oneindige deelbaar; 4. een vacuum, d.w.z. een ruimte waarin geen substantie zou zijn, is een contradictie en dus onbestaanbaar.

De eerste vraag die zich opdringt, is nu echter, hoe de differentiatie tot verschillende lichamen, die we in de wereld waarnemen, tot stand is gekomen. Men kan de meetkundige ruimte door oppervlakken wel in delen verdeeld denken, maar daardoor zijn die delen nog niet reëel van elkaar gescheiden. Ze worden dat echter wel, wanneer de verschillende

delen zich met behoud van vorm ten opzichte van elkaar gaan bewegen en inderdaad blijkt gemeenschappelijke beweging of gemeenschappelijke rust het differentiërende principe te zijn dat de samenhorigheid van ruimtedelen teweegbrengt en hen zich van andere doet onderscheiden. Men moet zich voorstellen, dat God bij de schepping der wereld de ruimte in delen van allerlei vormen en grootte gedeeld heeft (zoals iemand die een legkaart wil maken, op een stuk karton door lijnen vlakstukken van verschillende vormen en afmetingen bepaalt) en dat Hij die verschillende delen op alle mogelijke wijzen ten opzichte van elkaar in beweging heeft gebracht (de legkaart is langs de deellijnen in stukjes gebroken en deze worden nu door elkaar geworpen). Zo is het in werkelijkheid toegegaan. Het draagt echter tot verduidelijking bij wanneer men doet alsof de wereld niet in eens geschapen is, maar als resultaat van een ontwikkelingsproces langzamerhand de gedaante heeft aangenomen waarin ze nu verkeert. Men kan dan namelijk begrijpen, dat er drie orden van grootte der ruimtedelen zijn ontstaan: de oorspronkelijk aanwezige deeltjes hebben deels elkaar afgeslepen tot bolletjes, deels zich door het bindmiddel van onderlinge rust aaneengesloten tot grovere materiestukken. Het slijpsel dat bij het eerste proces ontstaan is, bestaat uit uiterst fijne deeltjes, die zich met grote snelheden bewegen en overal de tussenruimten tussen de delen der andere twee soorten opvullen (zo drukt men zich onwillekeurig uit; in werkelijkheid *zijn* die tussenruimten die slijpseldeeltjes).

205. Wanneer dit alles tot stand gekomen is of, eigenlijker gesproken, van den aanvang af, is de situatie de volgende: de bolvormige deeltjes der z.g. tweede materie vormen grote wervels; door hun centrifugale tendentie drijven deze de uiterst fijne z.g. primaire deeltjes of deeltjes der subtiele materie naar het midden. Deze vormen daar bolvormige opeenhopingen, die de zon en de vaste sterren zijn. Elk van deze heeft dus een wervel of hemel van secundaire deeltjes om zich heen, welke laatste daarom celeste of hemelse deeltjes heten. De grovere tertiaire deeltjes vormen de aarde en de planeten; hun tussenruimten zijn opgevuld door secundaire deeltjes, die in hun eigen tussenruimten weer subtiele materie bevatten; deze laatste worden dan onder den term celeste materie meebegrepen. De hoeveelheid materie van een aards lichaam (die later massa zal heten en die we gemakshalve reeds thans met dezen naam zullen aanduiden) wordt beoordeeld naar het totale volume van de tertiaire deeltjes die er in voorkomen; we zullen dit verder het reële volume noemen; het is gelijk aan het empirisch volume, verminderd met de som van de volumina der met celeste materie opgevulde tussenruimten. Bij uitzetting van een lichaam komt er meer celeste materie tussen de tertiaire delen te zitten; bij samenpersing wordt deze uitgedreven.

Alle veranderingen, die in de natuur plaatshebben, bestaan in bewegingen van de drie soorten ruimtedelen. De primaire oorzaak van die bewegingen ligt in Gods concursus ordinarius, den doorlopenden akt

van instandhouding. Hij regelt de beweging zo, dat de totale quantitas motus (impuls), d.w.z. de som van alle producten van massa en snelheid constant blijft. Deze betrekking

$$\Sigma\, mv = \text{const.}$$

vormt de opperste natuurwet[62]. Zij vloeit voort uit de onveranderlijkheid Gods, op grond waarvan, nu Hij eenmaal de wereld in beweging heeft willen laten verkeren, de verandering toch zoveel mogelijk onveranderlijk moet zijn.

206. Door de opperste wet is echter het verloop van het natuurgebeuren nog allerminst vastgelegd. Als secundaire leidraden fungeren nog drie wetten[63]. De eerste spreekt geheel algemeen uit, dat er niets in de ruimteof materiedelen verandert zonder uitwendige oorzaak: vorm en grootte van een lichaam, de toestand van al of niet met andere lichamen door gemeenschappelijke rust verbonden of daarvan door relatieve beweging gescheiden zijn, de toestand van rust of beweging zelf, geen van al deze dingen verandert ooit spontaan, van binnen uit, maar slechts door toedoen van andere lichamen. De verschillende lichamen hebben dus elk een zekere individualiteit en stevigheid, die hen wel zeer van ideale meetkundige ruimtevormen onderscheidt. De tweede wet bevat het inertiebeginsel: de in de eerste wet reeds onderstelde tendentie tot volharding in beweging wordt thans nader gepreciseerd als een streven, op ieder ogenblik met de dan aanwezige snelheid rechtlijnig voort te gaan, ongeacht den aard der voorafgegane beweging.

Hoewel alle beweging in een kringloop van lichamen bestaat, handelt de derde wet toch over het geval, dat twee lichamen tegen elkaar botsen, zonder dat over de gevolgen die dit voor de omgeving heeft, gesproken wordt. Daar dit de enige manier is waarop een lichaam op een ander kan inwerken (of liever daarop schijnt in te werken, want in feite worden alle bewegingen toch door God geleid) bevat deze wet het eigenlijke fundament van de Cartesiaanse physica. Zij gaat weer uit van de in de eerste wet vastgestelde tendentie om in rust of in beweging te blijven, die nu omschreven wordt als een kracht om weerstand te bieden tegen rustverstoring, resp. om in rechte lijn voort te gaan. Hoewel het niet uitdrukkelijk gezegd wordt, blijkt deze volhardingstendentie beoordeeld te worden naar de quantitas materiae, de massa. De derde wet zegt nu, dat een bewegend lichaam een ander rustend lichaam, dat een grotere massa heeft, niet in beweging kan brengen; daar echter de totale impuls niet veranderen kan, gaat het zelf met de oorspronkelijke snelheid in een andere richting voort. Heeft het echter een grotere massa dan het rustende, dan overwint het de rusttendentie daarvan en sleept het met zich mee, daarbij zelf zoveel impuls verliezende als het aan het andere meedeelt.

207. Na wat we boven reeds van Huygens over het juiste verloop der botsingsverschijnselen geleerd hebben (IV: 143-146), is de principiële

fout die in het eerste deel van deze wet schuilt, onmiddellijk duidelijk. Dat bij de botsing de totale impuls niet verandert, is alleen waar, wanneer men ook met de richting van den impuls, dus met zijn vectorkarakter, rekening houdt. Descartes doet dat niet, maar vermenigvuldigt de massa met de grootte der snelheid. Daardoor kan hij menen, dat wanneer de snelheid alleen van richting verandert, er geen verandering van impuls optreedt en dat het aanvankelijk rustende lichaam dus wel in rust kan blijven, wat op zichzelf aannemelijk kan lijken, omdat zijn streven om in rust te blijven sterker is dan dat van het andere om in beweging te volharden. In werkelijkheid moet de impuls van dit rustende lichaam door de botsing altijd veranderen, zal het dus zeker in beweging komen; dit zou alleen niet gebeuren, als het in volstrekte rust gehouden werd of, wat op hetzelfde neerkomt, een oneindig grote massa had. Het tweede deel van de wet is natuurlijk juist, voorzover de lichamen na de botsing aan elkaar vast blijven zitten. Voor het speciale geval van volkomen harde licbomen (waarmee als bij Huygens tevens bedoeld wordt, dat zij volkon en veerkrachtig zijn) stelt Descartes hierna nog zeven botsingsregels op[64], die van even grote fundamentele betekenis zijn als de derde wet. Van deze regels is de eerste identiek met het eerste der axiomata, waarop Huygens zijn theorie der botsing bouwde. Zij zegt (in de boven ingevoerde notatie), dat wanneer $m_1 = m_2$ en $u_1 = - u_2$ is, na de botsing geldt $v_1 = - u_1$ en $v_2 = - u_2 = u_1$. Dit is echter ook de enige van de zeven, die juist is en men kan zich voorstellen, welk een schok het den jongen Huygens moet hebben gegeven, toen hij, op de onwrikbare basis van een mathematische afleiding steunend, dit te kort bij den hoog vereerden denker moest vaststellen. Wij noemen als voorbeeld den tweeden regel:

Is $m_1 > m_2$ en $u_2 = - u_1$, dan is $v_2 = v_1$ en blijkbaar, hoewel dit niet gezegd wordt, ook gelijk aan u_1; de twee lichamen gaan na de botsing als één lichaam verder. Huygens kon de onhoudbaarheid hiervan onmiddellijk vaststellen op grond van zijn algemene stelling, dat de snelheid van het ene lichaam ten opzichte van het andere door de botsing alleen van richting, maar niet van grootte verandert. Met hetzelfde hulpmiddel is de onjuistheid van de meeste andere regels in te zien.

208. Een opmerkelijke en historisch niet onbelangrijke trek van de Cartesiaanse botsingsregels is nog, dat zij in strijd zijn met bet algemene beginsel dat Leibniz later als continuïteitsprincipe zou formuleren en dat voor het geval, dat ons bezighoudt zo kan worden uitgesproken, dat, wanneer de botsing een zeker effect heeft voor $m_1 > m_2$, dit effect moet naderen tot wat er in het geval $m_1 = m_2$ gebeurt, wanneer m_1 tot m_2 nadert. Bij Descartes is dit allerminst het geval. Zolang m_1 nog maar iets groter is dan m_2, sleept het eerste lichaam het tweede, dat hem met even grote tegengesteld gerichte snelheid tegemoet kwam, met zich mee, terwijl het zelf zijn weg met de oorspronkelijke snelheid voortzet. Zodra

echter m_1 gelijk aan m_2 geworden is, worden de beide lichamen in tegengestelde richting teruggeslingerd. Niet minder strijdig met het continuïteitsbeginsel is het, wanneer hij rust en beweging als volstrekte tegenstellingen behandelt.

209. Een belangrijke plaats in het Cartesiaanse wereldbeeld wordt ingenomen door de wervels van celeste materie om de zon en de vaste sterren. De wervel om de zon sleept namelijk de planeten met zich mee, terwijl deze zelf om hun as wentelen op dezelfde wijze als men in een waterwervel stukjes hout al draaiende meegevoerd kan zien worden. Voor de gedetailleerde verklaring van het zonnestelsel wordt nog ondersteld, dat tot op een zekeren afstand van de zon de celeste materiedeeltjes in grootte toe- en in hoeksnelheid afnemen, terwijl zij buiten deze grens onderling gelijk zijn en een tot aan den buitenkant van den wervel toenemende hoeksnelheid bezitten. Iedere planeet bezit een zekere karakteristieke soliditas of dichtheid, waaronder de verhouding van het reële tot het empirische volume te verstaan is, en dus ook een specifieken impuls, die het product van de dichtheid en de lineaire snelheid is. Zij zoekt nu dien afstand tot de zon op, waar de specifieke impuls van de celeste deeltjes even groot is als de hare. Dit wordt geregeld door de centrifugale tendentie van de wervelende deeltjes, die niets anders is dan hun inertie. Komt de planeet te dicht bij de zon, dan wint haar centrifugale tendentie het van die der celeste deeltjes; zou zij er zich te ver van verwijderen, dan gebeurt het omgekeerde.

De deeltjes der wervelende celeste materie bezitten natuurlijk de centrifugale tendentie overal; deze openbaart zich in een druk op de meer naar buiten gelegen lagen, die zich in instanti door de gehele ruimte heen voortplant. Dezen druk nemen wij waar als het licht dat door de zon en de sterren wordt uitgezonden; dat uitzenden is echter niet te verstaan als een gevolg van een activiteit van de zon of de sterren; het drukt alleen uit, dat het licht veroorzaakt wordt door de werveling van celeste materie om die lichamen.

210. Wij zullen Descartes niet verder volgen in zijn zeer gedetailleerde beschrijving[65] van het ontstaan van de onderlinge ligging der verschillende wervels, van de wijze waarop zij, zonder elkander te hinderen, ronddraaien, van de gecompliceerde bewegingen waardoor de subtiele materie van den enen wervel naar den anderen wordt uitgewisseld en van het ontstaan van planeten. En evenmin in zijn al even minutieuse en van een wonderbaarlijke phantasie getuigende behandeling van de meest uiteenlopende physische en chemische verschijnselen op aarde, die alle verklaard worden met behulp van geen andere onderstellingen dan die over vorm, grootte en bewegingstoestand der materiedeeltjes.

Eén ding verdient echter nog vermelding: tot de verklaarde verschijnselen, die dus als effect van beweging worden beschouwd, behoort ook de zwaarte; dat beduidt echter een verandering in de natuurbeschouwing van

zeer principiële betekenis. Zwaarte was, op geïsoleerde uitzonderingen na, altijd opgevat als iets dat tot het wezen van een lichaam behoort, een inwendige eigen tendentie, onverschillig of men die nu zag als streven om de natuurlijke plaats te bereiken of om zich met een groter geheel te verenigen; ze werd wel eens een ogenblik weggedacht, maar dat geschiedde toch bij wijze van een oneigenlijke fictie en de voorstelling van een lichaam zonder zwaarte (of, in de peripatetische physica, zonder zwaarte of lichtheid) lag toch over het algemeen ver buiten den natuurwetenschap-pelijken gezichtskring. Dat werd nu in eens gans anders[66]: een ruimte-deel op zich zelf heeft alleen vorm, grootte en bewegingstoestand; in geen van deze drie zit iets dat op een drang naar beneden of naar een geheel zou kunnen wijzen en wanneer deze niettemin aanwezig schijnt te zijn, moet dat door uitwendige invloeden worden verklaard. Opnieuw wordt hiertoe gebruik gemaakt van de celeste materie, die ook een wervel om de aarde vormt en haar daardoor in dagelijkse wenteling mee in het rond voert. Weer tracht zij tangentieel te ontwijken en ten opzichte van de meedraaiende aarde openbaart zich dat weer als een radiale centrifugale tendentie. Wordt nu een steen *A*, die betrekkelijk weinig celeste materie bevat en dus een grote dichtheid heeft, losgelaten in lucht, die vrij veel celeste materie inhoudt en dus weinig dicht is, dan kan de centrifugale tendentie van de celeste materie bevredigd worden, wanneer het dichtere lichaam door een lager liggende hoeveelheid lucht vervangen wordt. Houdt men het lichaam vast, dan voelt men dien aandrang der celeste materie als zwaarte. De grootte hiervan hangt af van het bedrag, waarmee de tertiaire materie *T* in den steen *A* die in een even groot volume lucht *B* overtreft en van het overschot van celeste materie *C* in *B* boven *A*. Men zou haar evenredig kunnen stellen met:

$$\{T_A - T_B\} + \{C_B - C_A\}.$$

Zij is dus noch evenredig met de massa van den steen; die door T_A wordt aangegeven, noch met het massaverschil $T_A - T_B$.

Het verdient opmerking, dat de zwaarte volgens hetzelfde beginsel wordt verklaard als de planetenbeweging.

211. Nu we met de grote lijnen van de Cartesiaanse natuurverklaring kennis hebben gemaakt, is het gewenst, nog even terug te komen op wat we boven reeds aangaande haar mathematisch karakter opmerkten. Het zal al wel duidelijk zijn geworden, dat dit niet zo moet worden begrepen als zoude Descartes de redeneringen waardoor hij de natuurverschijnselen verklaart, in mathematischen vorm hebben gekleed. Het tegendeel is het geval: in tegenstelling tot Huygens, die alles dadelijk wiskundig formuleert, houdt Descartes bijna nergens een mathematisch betoog en blijft hij steeds zeer vaag in het uitdrukken van functionele afhankelijkheden. In den zonnewervel neemt bij toenemenden afstand tot de zon zowel de omloopstijd der celeste materiedeeltjes als hun grootte toe, maar we ver-

nemen niet, volgens welke mathematische relatie dat toenemen plaats heeft en er wordt zelfs geen poging gedaan, om voor een planeet het verband tussen omloopstijd, dichtheid en afstand tot de zon op te sporen. Wat we het mathematisch karakter noemden schuilt echter in den axiomatischen opbouw van het geheel, in het vooropstellen van onbetwijtelbare grondslagen en de deductieve afleiding der verschijnselen.

212. De volmaakte Cartesiaan, bij wien ook die andere zin van mathematische behandeling tot zijn recht komt, is eerst Christiaan Huygens. Want deze spot, zoals we gezien hebben, wel eens wat met de al te rijke phantasie die Descartes bij zijn verklaringen ontwikkelt en hij ziet ook heel scherp de fouten die hij maakt, maar den grondslag der Cartesiaanse natuurbeschouwing blijft hij zijn leven lang trouw en op dien grondslag bouwt hij dan de theorieën waarin de idealen van zijn groten voorganger verwezenlijkt worden. Wanneer in 1695 zijn *Traité de la Lumière* verschijnt wordt daarin dadelijk in het begin[67] al verklaard, dat de behandeling zal plaats vinden volgens de methode van:

> la vraye Philosophie, dans laquelle on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mechanique. Ce qu' il faut faire à mon avis, ou bien renoncer à toute esperance de jamais rien comprendre dans la Physique.

En reeds eerder had hij in *De Coronis et Parheliis*[68] de door Descartes aangewezen richting ter verklaring van meteorologische verschijnselen verder vervolgd dan deze in zijn eigen *Météores* gedaan had.

213. Hier hebben we nu dus uit den mond van een tijdgenoot het woord vernomen, waaraan de klassieke natuurwetenschap haar meest gebruikelijke aanduiding en dit boek zijn ontstaan dankt: de Cartesiaanse physica wordt bedreven met *des raisons de mechanique*; zij is mechanistisch van aard. Daarmee wordt bedoeld: zij gebruikt geen andere verklaringsprincipes dan begrippen die in de mechanica behandeld worden: meetkundige bepalingen als vorm, grootte, hoeveelheid, die de mechanica hanteert omdat ze een onderdeel der wiskunde is, en beweging, die haar specifieke onderwerp vormt. Ze erkent in de natuur alleen datgene als feitelijk bestaand wat met deze begrippen te beschrijven en te verklaren is. Zij schakelt niet alleen alle gedachten aan bezieldheid, inwendige spontaneïteit en doelgerichtheid uit, maar ze ontkent ook iedere inwendige verandering in de materiedelen die ze als de uiteindelijke bouwstenen van de waarneembare lichamen beschouwt; tevens verbant ze uit de physica alle secundaire qualiteiten van de materie, die ze als bewustzijnstoestanden opvat.

214. Aan deze hoofdbetekenis van mechanistisch: met behulp van de mechanica, zit bij Descartes zelf al enigszins de bijbetekenis vast die het woord later vaak zal blijken te bezitten, nl. na te bootsen in een mechanisch model. Hij spreekt namelijk uitdrukkelijk uit, dat hij tussen natuur-

lijke lichamen en door den kunstvaardigen mens tot stand gebrachte artefacta geen ander verschil erkent dan een van afmeting: wat in de eerste onzichtbaar verloopt, gebeurt in de tweede op zo grote schaal, dat we het kunnen zien. Overigens is er tussen een lopend uurwerk en een groeienden boom geen enkel verschil. Daarom zijn ook zij, die vaardig zijn in het samenstellen van automaten het meest geschikt om de ware toedracht van de natuurverschijnselen, het mechanisme dat er achter zit, te raden[69].

Hiermee is een beginsel van natuurverklaring uitgesproken dat de physica langen tijd zal beheersen: van de verklaringsprincipes wordt vóór alles aanschouwelijkheid verlangd; de natuurverschijnselen moeten door een handig knutselaar in een model kunnen worden nagebootst. De afstand van dezen wens tot het toepassen van metaphysische beginselen als potentie en akt is onmetelijk.

215. De laatst geciteerde beschouwing van Descartes kan er nog toe bijdragen, de schijnbare tegenstrijdigheid op te heffen die men zou kunnen zien tussen de aprioristisch-deductieve wijze waarop hij de natuurwetenschap beoefent en waarin aan het experiment slechts een geringe plaats is ingeruimd, en anderzijds de levendige belangstelling die hij steeds voor het empirisch natuuronderzoek en voor de techniek aan den dag heeft gelegd. Hij heeft zich eindeloze moeite gegeven om door den instrumentmaker Ferrier hyperbolische lenzen te laten slijpen; hij heeft zelfstandige physiologische waarnemingen over den bloedsomloop gedaan, geëxperimenteerd met kunstmatige regenbogen, proeven uitgevoerd om het specifieke gewicht van lucht te bepalen en met grote nauwgezetheid meteorologische verschijnselen geobserveerd[70].

Voor een deel wordt die tegenstrijdigheid reeds weggenomen door wat we boven (IV: 200) hebben opgemerkt over de functie van het experiment in het vaststellen van overeenstemming tussen een deductief geconstrueerde gedachtenwereld en de physische realiteit. Voor een ander deel vindt ze haar verklaring in de overtuiging, dat het practisch omgaan met werktuigen een gunstige dispositie schept in het doorgronden van de verborgen werkingen der natuur.

We merken ten slotte nog op, dat in de boven gegeven formulering van een mechanistische natuurverklaring één woord niet voorkomt, dat in latere tijden de eigenlijke quintessens ervan zal schijnen uit te drukken: het woord kracht. Inderdaad is er van krachten die lichamen uit de verte op elkaar zouden kunnen uitoefenen, zoals de mechanica van Newton die gebruiken zal, bij Descartes geen sprake, terwijl het gewicht, zoals gebleken is, geen verklaringsbeginsel is, maar zelf mechanistische verklaring behoeft. Wij kunnen er ons dus reeds op voorbereiden, dat de inhoud van het begrip mechanistisch niet eens en voor altijd vaststaat, maar in den loop van de tijd veranderingen zal kunnen ondergaan.

216. Wij zullen thans nog de boven (IV: 170) gegeven belofte nakomen,

uit te leggen, hoe Descartes de brekingswet, wellicht niet gevonden heeft, maar dan toch in zijn *Dioptrique* afleidt[71]. Dit is in zoverre geen zuivere toepassing van zijn methode, dat hij in verband met zijn wens, de verhandeling ook begrijpelijk te maken voor ongeleerde handwerkslieden, die zulk een belangrijk aandeel hebben gehad in de uitvinding der verrekijkers, niet ingaat op het wezen van het licht om daaruit de noodzaak van de lichtbreking af te leiden, zoals eigenlijk met de grondgedachte van zijn methode zou hebben gestrookt. Hij maakt in plaats daarvan gebruik van enkele vergelijkingen met beter bekende verschijnselen. De eerste is zo gekozen, dat daarin de natuur van het licht, zoals we die boven hebben leren kennen, toch tot uiting komt. Hij vergelijkt hier namelijk het zien met het aftasten van voorwerpen met een stok, zoals blinden dat doen en zienden als het donker is. Evenals de druk dien het aangeraakte voorwerp op den stok uitoefent, zich instantaan naar de hand voortplant en men zelfs daardoor iets van den aard van dat voorwerp kan leren kennen, wordt door de lichtgevende lichamen een actie uitgeoefend, die in een ogenblik door een transparant medium heen ons oog bereikt en daar niet alleen de aanwezigheid van de lichtbron toont, maar ook, al naar den aard van het uitzendend lichaam, de verschillende gewaarwordingen teweegbrengt die we kleuren noemen.

217. Hij gebruikt deze vergelijking echter niet voor de afleiding van de brekingswet, maar past hiervoor het beeld van een met grote snelheid voortgeschoten kogel toe, die het grensvlak van een permeabel medium in scheve richting treft. Stel (Fig. 40), dat de kogel met zekere snelheid in lucht voortgaat langs *AB* en dat in *B* bij het doordringen in het medium, de snelheid anderhalf maal zo groot wordt (Descartes zegt: met een derde vergroot, maar dat is in verband met wat volgt kennelijk een vergissing).

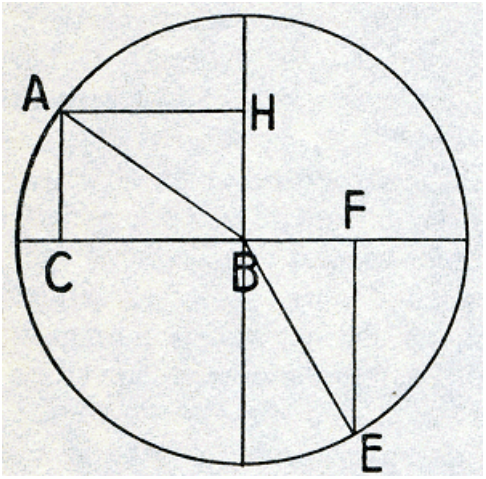


Fig. 40. Afleiding van de licht-brekingswet volgens Descartes, *La Dioptrigue, Discours* II (*Oeuvres* VI 100). Men trekke nog *EG* loodrecht op de verticale middellijn.

We beschouwen nu de beweging langs *AB* als samengesteld uit een horizontale beweging over *AH* en een verticale over *AC* en nemen aan, dat de eerste door het medium niet gehinderd wordt. Daar de snelheid, die v_1 was, nu 3/2 v_1 bedraagt, is de tijd, die nodig is om in het medium weer een cirkelomtrek met middelpunt *B* en straal *AB* te bereiken, ⅔ van den tijd over *AB*: in dien tijd wordt horizontaal afgelegd *BF* = ⅔ *AH* en de loodlijn, door *F* op het grensvlak treft den cirkel nu in het punt *E*, waar de gebroken straal doorgaat. Descartes zegt nu alleen, dat de verhouding *AH*: *EG*, die dezelfde is als sin *i*: sin *r*,

constant is, maar niet, hoe ze samenhangt met de verhouding der licht-snelheden in de twee media. Is de snelheid in het tweede medium v_2, dan is blijkbaar

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AH}{EG} = \frac{3}{2} = \frac{v_2}{v_1},$$

dezelfde betrekking die Newton in zijn brekingstheorie zal postuleren. De gehele afleiding vertoont dit wonderlijke, dat Descartes in de algemene theorie van den wereldbouw aanneemt, dat het licht zich instantaan voortplant. Hij ziet er echter geen bezwaar in, in een detailkwestie zijn onderstellingen eens te wijzigen en beroept zich daartoe op de gewoonte der astronomen, de verschijnselen te redden op de wijze die hun het best uitkomt.

218. Wij zullen in het volgende den invloed van Descartes vaak gecombineerd zien optreden met dien van de herleefde antieke atomistiek en tussen deze leer en de zijne nauwelijks onderscheid zien maken. Dit kan vreemd lijken, omdat Descartes principieel het vacuum, dat voor de atomistiek een onmisbare voorwaarde is, verwerpt en ook het bestaan van ondeelbare deeltjes ontkent: de materie is oneindig deelbaar, omdat de meetkundige ruimte, waarmee zij identiek is, het is. Zelf geeft hij dan ook met nadruk de verschilpunten tussen zijn eigen wereldbeeld en dat der atomisten op[72]: behalve de twee reeds genoemde bestaan zij daarin, dat Demokritos aan zijn atomen zwaarte toekende en dat hij niet verklaarde, door welke oorzaak een conglomeraat van atomen onderling samenhangt.

Nu zijn echter deze twee verschillen niet zo groot als ze lijken: een ruimte die alleen celeste materie bevat, biedt geen weerstand tegen de beweging van een lichaam dat uit tertiaire materie bestaat en gedraagt zich dus tegenover die beweging als een vacuum; de delen waarin God aanvankelijk de ruimte verdeeld heeft, zijn in dien zin deelbaar, dat wij ze in gedachten kunnen verdelen en Hijzelf het in feite doen kan; daar wij het laatste niet kunnen, gedragen zij zich voor de natuurwetenschap als Demokritische atomen, die we in gedachten ook wel kunnen verdelen. De onderlinge rust als bindmiddel maakt den samenhang der lichamen ook al niet veel duidelijker dan de eenvoudige iuxtapositie der atomen bij Demokritos. En zo blijft practisch als enig verschilpunt over, dat Descartes voor de eigenschap der zwaarte, die Demokritos als primair beschouwde, een mechanistische verklaring gaf.

219. Te midden van al de zuiver natuurwetenschappelijke beschouwingen die we Descartes in het bovenstaande zagen houden, toont hij zich voortdurend vervuld van zorg, door zijn beweringen niet in strijd te komen met het Katholieke geloof. Het is bekend[73], welk een indruk de veroordeling van Galilei op hem gemaakt heeft en hoe hij er zich door heeft laten weerhouden van de publicatie van zijn werk *Le Monde*, waarin hij zich ten gunste van Copernicus had uitgesproken. Later vraagt hij

zich bij het verschijnen van zijn werken telkens af, of zij wel genade zullen vinden in de ogen van zijn oude leermeesters, de Jezuïeten van La Flèche. En in de *Principia Philosophiae* zet hij telkens weer uiteen, hoe de relatie van de daarin ontwikkelde theorieën tot de geloofsleer moet worden gezien om er geen aanstoot aan te nemen. Hij wijst er op, dat hij alles slechts bij wijze van hypothese beweert (een bekend geluid uit de Scholastiek) en dat hij de mogelijkheid overweegt, dat zijn onderstellingen onjuist zijn. Voor sommige delen van zijn theorie weet hij zelfs, dat dit het geval is, namelijk van alle waarin het ontstaan der wereld beschreven wordt, daar het immers vaststaat, dat God haar direct in volle volmaaktheid geschapen heeft. Hij meent echter zijn plicht te hebben gedaan, wanneer hij hypothesen heeft opgesteld waarvan de consequenties kloppen met de ervaring; deze hebben voor het leven dezelfde betekenis als de waarheid zelf. Aan het slot van zijn werk komt hij hier nog eens op terug: hoe goed zijn theorieën ook in staat blijken, alles te verklaren, men kan nooit met zekerheid beweren, dat ze juist zijn; de Schepper zou altijd nog wel dezelfde verschijnselen langs een anderen weg in het leven hebben kunnen roepen. Er is echter wel een morele zekerheid, dat ze waarheid bevatten; er is zelfs een meer dan morele omdat de gehele leer ten slotte steunt op het meta-physisch fundament, dat er een goede God bestaat, die ons niet zal misleiden, als we onze rede gebruiken. Maar overigens: gedachtig aan zijn zwakken wil zal hij niets affirmeren maar zich geheel onderwerpen aan de autoriteit der Kerk[74]

220. De adhaesie aan het stelsel van Copernicus blijft hij ondanks alles onverzwakt handhaven. Echter zal men hem er niet van kunnen beschuldigen, dat hij aan de aarde beweging heeft toegekend. Zij wordt weliswaar door den wervel der celeste materie, die haar omringt, meegevoerd in de dagelijkse aswenteling, maar daar zij zich ten opzichte van dien wervel niet verplaatst, verkeert zij al wentelend in rust[75].

Het blijft een onuitputtelijke bron van meningsverschil, hoe men dit alles moet opvatten: sommigen zien er niets dan veinzerij in, uit angst geboren; anderen twijfelen niet aan de oprechtheid van zijn katholicisme. De beste omschrijving van zijn houding is wellicht die van Laberthonnière: croyant sincère mais banal[76]. Hij bezit het typerende vermogen van de zeventiende-eeuwse geleerden, de nieuwe natuurwetenschap die zij bezig zijn voort te brengen, geheel gescheiden te houden van hun geloof. Blaise Pascal leerde van zijn vader, dat hij de rede niet mocht toepassen op geloofszaken[77]. En Descartes vindt het de gemakkelijkste levenshouding, dat eveneens na te laten. ‘Ick hebbe de religie van mijn Minnemoeder’ is het bekende antwoord, waarmee hij iedere gedachte aan overgang tot een anderen godsdienst dan waarin hij was opgevoed, uitsluit[78]. Hij weet, dat het geloof een acte van den wil is en niet van het intellect[79] en het willen valt hem in deze niet moeilijk, omdat het hem de gemoedsrust verzekert, die hem boven alles dierbaar is.

F. Corpusculairtheorieën

221. Na eerst vertoefd te hebben in de mathematische regionen der kinematische astronomie en der rationele mechanica, waar de aard van het stoffelijke weinig ter zake deed, zijn we door de beschouwingen van Descartes weer geconfronteerd met het oude probleem van de samenstelling van de materie, die echter niet meer in aardse en hemelse onderscheiden wordt. We zullen thans eerst na moeten gaan, hoe dit zich sedert het ogenblik, dat we bij het begin van den nieuwen tijd de behandeling ervan staakten, verder ontwikkeld had.

In het begin van de zeventiende eeuw konden we bij verschillende chemici een bewuste oppositie tegen Aristoteles en bij een nog groter aantal ontvankelijkheid voor corpusculair-theoretische voorstellingen vaststellen (III: 73-77). Deze stroming vindt een parallel bij de beoefenaren der physica, die echter in verband met den aard der problemen die hen bezighouden, meer speciaal de gedaante van een terugkeer tot de Demokritisch-Epicuraeische atomistiek aanneemt.

Invloed van de denkbeelden van deze theorie, die echter nog niet tot volledige aanvaarding voert, vinden we in het werk van Galilei; de definitieve herleving komt tot stand door toedoen van Gassend. We geven hier van beider werk op dit gebied een kort overzicht.

a. *Atomistische voorstellingen bij Galilei*

222. Uit wat we boven reeds over Galilei's wetenschappelijke denkwijze vernomen hebben, laat zich al begrijpen, dat we bij hem geen natuurbeschouwing in den geest der antieke atomistiek zullen kunnen verwachten. De idee van den kosmos, van het schoon en doelmatig geordende geheel, leeft bij hem veel te sterk, dan dat hij zich bevredigd zou kunnen voelen door de voorstelling van een oneindige lege ruimte waarin uit de dwarreling van oneindig veel atomen in eindeloze opvolging werelden ontstaan en weer te niet gaan. Reeds de allereerste grondslag van dit wereldbeeld ontbreekt bij hem: het vacuum. Want wel bestrijdt hij heel scherp de Aristotelische bewijzen voor de onmogelijkheid, dat het zou bestaan en wel laat hij de bewegingen van vallende en voortgeworpen lichamen die hij mathematisch behandelt, zich in vacuo afspelen, maar dat hij dit als een onderstelling in zijn wiskundige theorieën invoert, sluit geenszins in, dat hij het ook zonder voorbehoud als physische realiteit zou erkennen. We leren zijn tamelijk gecompliceerde zienswijze op dit gebied kennen door de gesprekken op den Eersten Dag van de *Discorsi* te volgen[80].

223. Er wordt gesproken over het verschijnsel der cohaesie: een houten balk, een metalen staaf, een marmeren zuil, kunnen, verticaal opgesteld, aan de onderzijde met een zeker gewicht worden belast en verdragen dus

een zekere uitrekkende kracht. Men kan echter de last die er aan wordt gehangen, zo groot maken, dat ze uit elkaar worden getrokken. Welk is het bindmiddel dat de delen aanvankelijk samenhield maar dat ten slotte toch bezwijkt? Salviati voert als eerste verklaringsprincipe ‘het befaamde tegenstreven van de natuur een vacuum toe te laten’ in, dat hij verder met den wonderlijken naam van *resistenza del vacuo* (weerstand van het vacuum) aanduidt en dat hij illustreert met de van ouds bekende proef van twee tegen elkaar aangedrukte vlakke glazen platen, waarvan de ene dan de andere dragen kan; zou ze dat niet doen, dan zou er even een vacuum tussen de platen moeten komen, voordat de omringende lucht de tussenruimte kon vullen en zelfs dit kortstondige bestaan gedoogt de natuur blijkbaar niet. In dezen traditionelen gedachtengang voert Galilei nu echter een nieuw, zijn denkwijze typerend element in door te overwegen, dat een tegenzin wel voor overwinning vatbaar kan blijken en dat er dus aanleiding bestaat te proberen, welke kracht daartoe in staat is. Hij laat daartoe door Salviati het volgende experiment beschrijven.

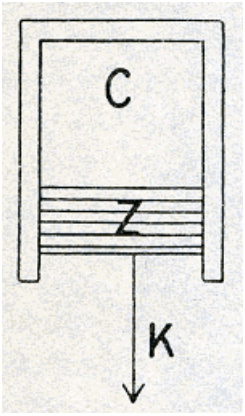


Fig. 41. Proef van Galilei ter bepaling van de *resistenza del vacuo. Discorsi* I (*Opere* VIII 55).

Een cylindrisch vat *C* (Fig. 41), gevuld met water, waarop een zonder wrijving beweeglijke zuiger *Z* rust, is zo opgesteld, dat de zuiger zich aan den benedenkant bevindt. Er wordt nu door er een met zand te vullen zak aan te hangen, een naar beneden gerichte kracht *K* op den zuiger uitgeoefend en deze wordt zo groot gemaakt, dat *Z* van het water wordt losgetrokken. De som van *K* en het gewicht van *Z* (in verband met een latere uitlating nog te vermeerderen met het gewicht van het water) geeft nu aan, hoe groot de resistenza del vacuo is, dus welke kracht er vereist wordt om tussen *C* en *Z* ondanks het tegenstreven van de natuur toch een vacuum te doen ontstaan.

Zoals zo vaak bij Galilei zou men zo graag willen weten, of deze proef alleen op papier beschreven wordt of dat ze ook werkelijk is uitgevoerd. De beschrijving van het toestel is gedetailleerd genoeg om het laatste te vermoeden, maar er wordt telkens gezegd, wat er gedaan zal worden en dat klinkt meer naar ‘gedaan zou kunnen worden’ dan naar ‘gedaan is’. En in ieder geval vernemen we niets over het verloop van de proef en we krijgen ook niet te horen, bij welke waarde van *K* de zuiger naar beneden kwam.

Sagredo merkt naar aanleiding van de proef op, dat hij nu ook begrijpt, waarom men met een zuigpomp water niet hoger kan oppompen dan 18 el. Er hangt dan een waterzuil van deze lengte in de buis en deze zou bij vermeerdering van de lengte door haar eigen gewicht breken. Zoals we reeds vroeger opmerkten (II: 64), is door het aangeven van een methode

om de intensiteit van de fuga vacui door een getal uit te drukken, het laatste bezwaar om haar als een echt verklaringsprincipe te aanvaarden, vervallen. Zij wordt dan ook door Galilei ondanks zijn felle oppositie tegen alles wat naar de Scholastiek zweemt, volledig aanvaard.

224. Op grond van beschouwingen over vloeistoffen waarop we hier niet kunnen ingaan, is Galilei overtuigd, dat er tussen de waterdelen onderling geen enkele cohaerentie bestaat en dat dus de gemeten resistenza del vacuo de enige oorzaak is dat een hoeveelheid water een bepaald volume blijft innemen. Had hij het begrip van den luchtdruk gekend, dan zou hij hebben kunnen zeggen, dat zij onder den alzijdigen druk van de buitenlucht bijeenblijft en hij zou de beschreven proef als een middel ter bepaling van de grootte van dien luchtdruk hebben kunnen aandienen.

Salviati deelt nu verder mee, dat wanneer men aan een cylinder van marmer of glas, die congruent is met het water in *C*, een gewicht hangt dat, samen met het eigen gewicht van het lichaam, gelijk is aan het bij de bovenstaande proef gevonden bedrag, er nog geen sprake is van een breuk, zodat hier blijkbaar nog wel een andere kracht werkt, die de delen samenhoudt. Het wordt opnieuw niet duidelijk, of hij dit werkelijk onderzocht heeft ofhet alleen maar bij wijze van voorbeeld noemt: ‘wanneer men aan een cylinder van marmer een zodanig gewicht hangt dat... en indien er geen breuk zal optreden, zullen we zonder enigen twijfel kunnen beweren...’

Hij stelt nu de hypothese op, dat ook deze kracht met het vacuum in verband staat, maar dan met wat we vroeger al het mikrovacuum hebben genoemd, de verzameling van de talloze lege holten (vacuola) tussen de deeltjes van een lichaam. Deze holten trekken, naar hij meent, de deeltjes naar elkaar toe en vormen daardoor het gezochte bindmiddel. Dit wordt aannemelijk - en hier beginnen redeneringen op te treden, die typerend zijn voor de atomistische natuurverklaring - wanneer we letten op wat er bij het smelten van metalen gebeurt: de uiterst fijne vuurdeeltjes dringen dan binnen in de poriën van het metaal, die te klein waren om luchtdeeltjes toe te laten, vullen de vacuola en heffen dus de cohaesie op. Zodra ze bij afkoeling echter verdwijnen, worden de vacuola weer leeg en de cohaesie herstelt zich.

225. Het allermerkwaardigste aan deze theorie is nu echter, dat Salviati, zonder dat men daarvoor enige dwingende reden ziet, het aantal van die vacuola als oneindig groot aanneemt en zich in oneindigheidsbeschouwingen moet begeven om dat geloofwaardig te maken; de tegenwerping dat het volume van de gezamenlijke holten dan niet kleiner zou kunnen zijn dan dat van het gehele lichaam ligt immers voor de hand. Hij beroept zich nu op de paradox, die bekend staat als rota Aristotelis, het rad van Aristoteles. Deze bestaat hierin (Fig. 42), dat men een cirkel met straal *MA = R* laat rollen over een rechte lijn en nu let op het gedrag van een kleineren concentrischen cirkel met straal *MB = r*. Wanneer de grote

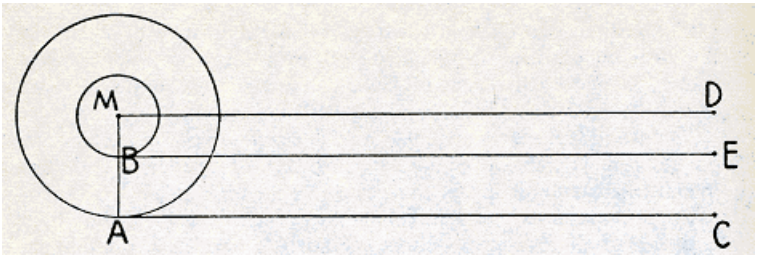


Fig. 42. Rota Aristotelis. Als de cirkel met straal *MA* rolt over een horizontale rechte wordt bij een omwenteling de weg $AC = 2\pi R$ afgelegd. *B* komt dan in *E* en heeft zich dus verplaatst over een weg $2\pi R$, terwijl de omtrek van den cirkel met straal *MB* toch kleiner is dan dit bedrag. Galilei, *Discorsi* I (*Opere* VIII 68).

cirkel eenmaal is omgewenteld, is *A* in *C* gekomen, waarbij $AC = 2\pi R$. *M* is dan in *D* en *B* in *E*. *B* heeft zich dus verplaatst over $BE = 2\pi R$, terwijl de omtrek van den kleinen cirkel slechts $2\pi r$ bedraagt.

Om deze paradox (die natuurlijk dadelijk wordt opgeheven door de opmerking, dat de kleine cirkel niet rolt, maar al ronddraaiend door den groten wordt meegenomen) op te lossen, vervangt Galilei (Fig. 43) elk der twee cirkels door een ingeschreven regelmatig polygoon van *n*-zijden (in de figuur $n = 6$) en laat het grootste polygoon telkens kantelen om een hoekpunt, zodat eerst *C* in C_1 komt, dan *D* in D_2 enz. De zijden van

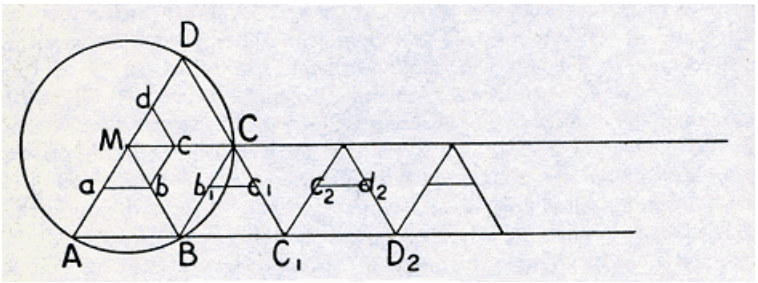


Fig. 43. Verklaring van het paradoxale van de rota Aristotelis, tevens illustratie van de structuur der materie. *Discorsi* I (*Opere* VIII 68).

het kleine polygoon komen nu opv. in de standen b_1c_1, c_2d_2 enz. die door de lijnstukken bb_1, c_1c_2 enz. gescheiden worden. Laat men nu *n* onbeperkt aangroeien, dan naderen de polygonen tot de cirkels van de rota. Galilei beschouwt nu het lijnstuk *BE* van Fig. 42 als bestaande uit de oneindig vele punten van den kleinen cirkel, die de limieten zijn van de lijnstukken *ab,* b_1c_1, c_2d_2 enz., gescheiden door oneindig veel puntvormige tussenruimten, waarin de stukken bb_1, c_1c_2 enz. zijn overgegaan.

En zo moet men zich nu ook den bouw van een vast lichaam voorstellen: het bestaat uit oneindig veel extensieloze atomen (*atomi non quanti*), waartussen zich oneindig veel puntvormige tussenruimten bevinden. Hoe de toch niet oneindig kleine vuurdeeltjes die punt-vacuola kunnen opvullen, wordt niet nader verduidelijkt.

226. We zullen hier niet verder ingaan op de uitvoerige beschouwingen over het oneindige waarin Salviati zich nog verdiept en die enerzijds verwantschap vertonen met de paradoxale denkbeelden van Cusanus, anderzijds nauw samenhangen met de leer der indivisibilia, die in den tijd waarin de *Discorsi* ontstonden, door Galilei's leerling Cavalieri in de wiskunde werd ingevoerd. Het geheel werkt tamelijk verwarrend. Salviati komt van den enen vernuftigen inval op den anderen, maar van een logisch samenhangende theorie over den bouw van de stof en haar physische veranderingen is geen sprake. Terwijl de hypothese van de oneindigheid der aantallen atomen en tussenruimten aanvankelijk is ingevoerd om begrijpelijk te maken, waarom vaste lichamen een zoveel grotere cohaesie bezitten dan vloeistoffen, wordt later als wezenlijk verschil tussen de vloeibare en de vaste phase van een stof juist genoemd, dat in eeu vloeistof de verdeling in oneindig veel extensieloze atomen actueel bestaat en dat er daarom geen andere cohaesie aanwezig is dan die het gevolg is van de resistenza del vacuo, dus van den luchtdruk.

Het verdient nog opmerking, dat Galilei niet kan nalaten, een toespeling te maken op het suspecte karakter, dat sedert de Oudheid alle atomistische beschouwingswijzen in de ogen der theologen bezaten. Wanneer Salviati zijn theorie van de oneindig vele vacuola heeft ontwikkeld, merkt Simplicio op, dat het hem doet denken aan een zekeren philosoof uit de Oudheid (waarmee wel Epikouros bedoeld zal zijn); waarop Salviati met een zekere voldoening vaststelt, dat hij er tenminste niet, zoals ook al eens gebeurd is, bijvoegt: die de goddelijke voorzienigheid loochende. En dit geeft dan Simplicio aanleiding, aan zijn overtuiging van de goed-katholieke gezindheid van den spreker uiting te geven.

227. Zoals dat bij Galilei vaker het geval is, vormen zijn beschouwingen over het vacuum een wonderlijke vermenging van denkbeelden die uit de middeleeuwse physica afkomstig zijn met voorstellingen die in de mede door zijn werk tot stand gekomen nieuwe natuurwetenschap thuishoren. Men kan hem dan nog niet ten volle tot de vertegenwoordigers van het mechanistisch wereldbeeld rekenen, dat door toedoen van Descar-tes en Gassend het denken van de zeventiende eeuw zal gaan beheersen. Hij behoort er echter in zoverre wel toe, dat hij als een der eersten (vóór hem had van Goorle zich reeds in denzelfden zin uitgelaten) een gedachte heeft uitgesproken die, als een wezenlijke consequentie van een natuurbeschouwing waarin slechts geometrisch-mechanisch bepaalbare eigenschappen als reëel worden erkend, in het verdere verloop van de zeventiende eeuw groten aanhang heeft verworven. Zij bestaat uit het reeds bij

Demokritos voorkomende denkbeeld, dat zintuiglijke qualiteiten als kleur, smaak en reuk niet mogen worden beschouwd als zetelend in de lichamen buiten ons, maar dat de gewaarwordingen die men eertijds aan de aanwezigheid van die qualiteiten had toegeschreven, slechts het gevolg zijn van de wijze waarop het alleen waarlijk bestaande, de atomen en hun beweging, op onze zintuigen inwerkt. Met haar begint een ontwikkeling die bij Locke tot de definitieve onderscheiding tussen de als primair aangeduide geometrisch-mechanische en alle andere, secondair genoemde, qualiteiten leiden zal.

228. Dat Galilei zich over dit onderwerp uitlaat, heeft een betrekkelijk toevallige aanleiding en de beschouwingen die hij er over houdt, blijven in het geheel van zijn werk dan ook tamelijk geïsoleerd staan. Zij komen namelijk voor in het polemische geschrift *Il Saggiatore*[81] (Het goudschaaltje), waarin hij in 1623 zijn tegenstander in een dispuut over de natuur van de kometen, den Jezuïet Grassi, aanvalt. De gang van het betoog leidt hem er toe, zich uit te spreken over de opvatting van warmte als een qualiteit, die haar zetel zou hebben in het lichaam dat wij als warm beoordelen. Hij zegt dan[82], dat wanneer men aan een stoffelijk lichaam denkt, men vanzelf mededenkt, dat dit een bepaalde gedaante bezit, dat het vergeleken met andere lichamen groot of klein is, dat het op een bepaald ogenblik op een bepaalde plaats is, in rust of beweging verkeert, een ander lichaam al dan niet aanraakt, één of weinig of veel is, omdat men deze bepalingen op geen enkele wijze in de verbeelding van het lichaam kan scheiden; dat het echter wit of rood, bitter of zoet, klinkend of stom, aangenaam of kwalijk riekend is, behoeft er helemaal niet bij gedacht te worden; wanneer we geen zinsorganen hadden, zouden rede en verbeelding wellicht nooit het bestaan van dergelijke eigenschappen hebben vermoed. Al die smaken, geuren, geluiden en derg. waarvan men denkt, dat zij in de lichamen huizen, zijn niets anders dan pure namen. Zij bestaan alleen voor een zinlijk waarnemend subject en wanneer dit vernietigd wordt, zijn zij niets meer. In een lichaam dat, op de tong gebracht, de gewaarwording zoet opwekt, is evenmin een op die gewaarwording gelijkende qualiteit zoetheid aanwezig als de kieteling die we voelen, wanneer iemand met de hand over onze voetzolen strijkt, als qualiteit in die hand resideert. Alle zinlijke qualiteiten moeten dus worden beschouwd als subjectieve gewaarwordingen, waarmee in de lichamen buiten ons, die ze opwekken, wel iets correspondeert, maar iets, dat er even weinig op lijkt als een naam op het ding dat er door wordt aangeduid.

De conclusie, ‘dat er in de lichamen buiten ons niets anders vereist wordt dan grootten, figuren, hoeveelheden en snelle of langzame bewegingen om in ons de smaken, geuren en geluiden op te wekken’[83] gaat dan ineens wel heel ver en strookt ook niet geheel met de concrete uitwerkingen die Galilei hierna van zijn gedachte geeft; ze geeft echter wel heel nauwkeurig weer, wat in de mechanistische wereldbeschouwing voortaan als grondbeginsel gelden zal.

229. Het getuigt weer van de eigenaardige vermenging van de Aristotelische denkwijze met die der nieuwere natuurwetenschap die we overal bij Galilei aantreffen, dat hij bij de mechanistische verklaring van de manier, waarop verschillende lichamen op onze zintuigen inwerken, weer gebruik gaat maken van de specifieke eigenschappen der elementen aarde, water en lucht. Dat hij verder speciale warmte-atomen, *igniculi*, aanneemt, moge nog wel met den grondslag der mechanistische natuurverklaring te rijmen zijn - hun speciaal karakter kan immers weer door zuiver geometrisch-mechanische kenmerken bepaald worden -, de onderstelling, dat bij het verbranden van een lichaam deze igniculi in staat zouden zijn, de deeltjes van andere stoffen in igniculi te veranderen, past daarentegen veel meer in de Aristotelische gedachtenwereld, terwijl de bewering, dat de igniculi zich zouden kunnen oplossen in werkelijk indivisibele atomen, d.w.z. atomen zonder uitgebreidheid, en dat op deze wijze licht zou ontstaan, in geen van beide thuishoort.

230. De wijze, waarop Grassi Galilei beantwoordt, toont weer duidelijk aan, welk een hachelijke kant er in het begin van de zeventiende eeuw nog aan het belijden van atomistische denkbeelden zat. Hij wijst dadelijk op de verwantschap van de voorgedragen beschouwingen met die van Epikouros, den man die het er op aanlegde om God òf af te schaffen òf hem althans de zorg voor de wereld te ontnemen. En hij voert tegen de subjectivering der zinlijke qualiteiten ook reeds het argument aan, waartegen ook Descartes zich heeft moeten verweren, namelijk dat deze opvatting in strijd is met het dogma van de Eucharistie. Wanneer onder den invloed der priesterlijke woorden de substanties van brood en wijn veranderd zijn in die van vlees en bloed van Christus, blijven niettemin door een goddelijk ingrijpen de uitwendige gedaanten, kleur, smaak en temperatuur, behouden. Volgens Galilei zijn dit echter slechts namen, maar om namen te laten voortbestaan is, aldus Grassi, geen wonder van node[84].

b. *Pierre Gassend*[85]

231. De atoomtheorie van Demokritos en Epikouros die van haar ontstaan af om haar anti-religieus karakter aanstoot had gegeven en die het daarom ook in het bijzonder in de Christelijke wereld nooit verder had kunnen brengen dan tot een ondergronds bestaan, ondergaat in de eerste helft van de zeventiende eeuw een verrassende lotswending. Een katholiek geestelijke van grote wetenschappelijke reputatie en onverdachte rechtzinnigheid voelt zich door haar bekoring gegrepen en ziet het als zijn levenstaak, haar in een theologisch aanvaardbaren vorm in het Westerse denken in te voeren. Hij slaagt daarin en daardoor klimt zij, die in de jaren twintig nog als een aan ketterij grenzende stoutigheid was beschouwd, in korten tijd op tot den rang van een respectabele theorie, waarvoor geen Christelijk natuuronderzoeker zich behoefde te schamen.

Er bestaat een zekere overeenstemming tussen de wijze, waarop Pierre Gassend in de zeventiende en die, waarop Thomas van Aquino in de dertiende eeuw een stuk antiek geestesgoed in de Christelijke wetenschappelijke cultuur heeft weten in te lijven. In beide gevallen moest tegenstand van de zijde der kerkelijke overheid overwonnen worden en moesten zekere voor het Christelijk denken onaanvaardbare elementen uit de heidense theorieën, met name de ongeschapenheid en het eeuwig voortbestaan der wereld, worden geëlimineerd.

Groter dan de overeenstemming is echter het verschil. Terwijl Thomas, door de Aristotelische wijsbegeerte met de Christelijke geloofsleer te verbinden, een harmonie tussen geloof en wetenschap vestigde die, voor wie hem volgen, tot in onzen tijd stand houdt, bracht Gassend, door een theorie met een uitgesproken materialistische strekking theologisch aannemelijk te maken, een kiem van onrust en tweedracht in het Christelijk bewustzijn, die juist het tegenovergestelde zou bewerken van wat Thomas beoogd had. Uiterlijk was de overeenstemming met het geloof niet zo moeilijk te verkrijgen: men behoefde slechts aan te nemen, dat de atomen en hun beweging niet van eeuwigheid her hebben bestaan, maar in het begin van den tijd door God geschapen zijn, dat zij niet eeuwig zullen voortbestaan, maar eenmaal door God weer vernietigd kunnen worden, dat hun aantal niet oneindig groot is en dat hun bewegingen niet door het blinde toeval of de ijzeren noodzaak worden beheerst, maar door Gods voortdurend ingrijpen geleid worden. Maar daarmee was voor de innerlijke verenigbaarheid met de geloofsvoorstellingen nog niet zo heel veel bereikt. De concrete situatie van de wereld op een gegeven ogenblik wordt er niet anders van, of men haar ziet als een segment uit een eindige in-plaats van uit een oneindige reeks van processen; en of de atomen zich onder bewuste goddelijke leiding of door de macht der anangke volgens de wetten der mechanica gedragen, maakt voor het werkelijke verloop der gebeurtenissen ook al niet veel verschil.

Men kan nauwelijks aannemen, dat Gassend dit alles niet zou hebben bedacht. Dat hij zich niettemin met hart en ziel er op heeft toegelegd, de atomistische denkwijze te bevorderen en haar verenigbaarheid met het Christelijk geloof te betogen, getuigt van de onweerstaanbare kracht waarmede het natuurwetenschappelijk denken zich volgens een eigen inwendigen drang tot een zelfstandige macht naast en zo nodig tegen het geloof aan het ontwikkelen was. Het optreden van Gassend en evenzo dat van Descartes, die met zijn eigen wereldbeeld juist zo ten aanzien van de Christelijke wereldbeschouwing staat als de eerste met de antieke atomistiek, is te beschouwen als een met uiterste energie in het werk gestelde poging, de onherroepelijk komende breuk in de wereldbeschouwing alsnog te verhinderen of, voorzover ze reeds een feit was, te bepleisteren.

232. Afgezien van de uit theologische overwegingen voortspruitende principieel belangrijke, maar voor de practijk der natuurwetenschap niet

ter zake doende afwijkingen komt het wereldbeeld van Gassend in grote lijnen met het Demokritisch-Epicuraeïsche overeen. Weer vinden we onzichtbare, niet extensieloze, mathematisch wèl, maar physisch niet deelbare atomen, waarvan het wezen uit de *soliditas* of *antitypia*, vastheid en ondoordringbaarheid, bestaat, die ze tot blijvende, niet veranderlijke, onderling qualitatief niet verschillende substanties maakt. Weer worden als kenmerkende eigenschappen der afzonderlijke atomen *moles* (grootte) en *figura* (gedaante) genoemd, waarnaast als derde *pondus* treedt. Dit is nu echter niet als bij Epikouros een zwaarte, die de atomen in een enkele bepaalde richting in een beweging door de ruimte brengt, waaraan alleen het raadselachtige *clinamen* (I: 13) hen kan onttrekken. Het is een inwendig bewegend vermogen, een impetus, door God bij de schepping ingeprent en onveranderd voortbestaand tot het einde der wereld.

Voor de beweging der atomen worden lege ruimten onmisbaar geacht. In een Cartesiaans plenum moge beweging in kringloop kunnen blijven bestaan, als ze er eenmaal is, het is niet in te zien, hoe ze zou kunnen beginnen. Gassend neemt dus een vacuum separatum aan, een oneindige ruimte, waarin God de eindige wereld geschapen heeft, en daarnaast binnen de wereld een vacuum disseminatum, een verzameling van leegten tussen de corpuscula, waardoor deze plaats krijgen om uit te wijken. Een samenhangend vacuum coacervatum of grandiusculum is slechts kunstmatig voort te brengen; hierbij wordt blijkbaar aan de proef van Torricelli gedacht.

De atomen bestaan in onvoorstelbaar, maar niet oneindig vele gedaanten, terwijl van elke gedaante ook weer een eindig, maar zeer groot aantal exemplaren aanwezig is. Naast de eigenschappen moles, figura, pondus, die aan de individuele atomen toekomen, bestaan andere, die op atoom-groepen betrekking hebben. Het zijn de situs, de ligging van een atoom ten opzichte van zijn omgeving en de ordo, de orde waarin zij ten opzichte van elkaar geplaatst zijn. Ter nadere verduidelijking gebruikt Gassend de van ouds toegepaste vergelijking met letters. Verschil in situs vertonen Z en N; door verschil in ordo onderscheiden zich Roma en Amor, Laurus en Ursula. De ontelbaar vele boeken, die alle met dezelfde letters geschreven zijn, illustreren de onafzienbare verscheidenheid der natuurdingen.

233. Wij zullen Gassend niet op den voet volgen wanneer hij het nu onderneemt om met een vindingrijkheid die voor die van Descartes niet onderdoet, uit de soliditas der atomen en de lege ruimten er tussen, uit hun particuliere qualiteiten moles, figura, pondus, en uit hun groeps-eigenschappen situs en ordo, de gehele natuur te verklaren. De behandeling laat aan volledigheid niets te wensen over. IJlheid en dichtheid, doorzichtigheid en ondoorzichtigheid, grofheid en fijnheid, gladheid en ruwheid, weekheid en hardheid, vastheid en vloeibaarheid, droogte en vochtigheid, elasticiteit, buigzaamheid, en starheid, rekbaarheid, smeedbaarheid,

pletbaarheid, breekbaarheid, splijtbaarheid, warmte en koude, verdampen en condenseren, smelten en stollen, geluid en licht, smaak, kleur, reuk, het vermogen om werkingen uit te oefenen en de vatbaarheid om ze te ondergaan en wat er nog meer voor physische behandeling in aanmerking komt, het komt allemaal aan de orde en alles wordt verklaard.

Natuurlijk wordt er in den stricten zin van het woord, waarin verklaren begrijpbaar maken betekent, niets verklaard. Want òf de eigenschappen, die we in het groot aan de lichamen waarnemen en die onze causaliteits-behoefte prikkelen, worden vrijwel onveranderd toegeschreven aan de kleine deeltjes die die lichamen constitueren òf ze worden veroorzaakt gedacht door atoomgroeperingen en -bewegingen, die weliswaar aan zekere door ons ondervonden gewaarwordingen worden toegevoegd, maar die het feit, dat een gewaarwording ontstaat en dat het juist deze gewaarwording is, zo onbegrepen laten als eerst. Gassend merkt zelf op, dat het een raadsel is en blijft, waarom wij atoombewegingen niet als bewegingen, maar als smaak, geur, gevoel van warmte of koude, geluid, licht of iets soortgelijks gewaarworden en terecht noemt hij in dezen zin ieder vermogen en iedere qualiteit occult.

234. Dit alles is geen specifieke tekortkoming van de atomistiek van Demokritos, Epikouros en Gassend. Het is een karakteristieke eigenschap van de mechanistische natuurwetenschap, die, geen andere realiteiten erkennende dan de geometrisch-mechanische qualiteiten van atomen en atoomgroepen, principieel niets anders kan leren kennen dan situaties die weer door geometrisch-mechanische kenmerken beschreven kunnen worden en die dus ten aanzien van de wereld der bewustzijnsfeiten nooit verder kan komen dan het vestigen van een zoveel mogelijk een-eenduidige correspondentie tussen de elementen van haar wereldbeeld en die van de bewustzijnswereld. Het hangt slechts van de betekenis af, die men aan de woorden hecht, of men de vaststelling van zulk een toevoeging een verklaring of een beschrijving wil noemen. Dat ze verklaring mag heten in den letterlijken zin van klaarder, helderder, doorzichtiger maken, waaraan het uitoefenen van invloed op den loop der gebeurtenissen, het voorspellen van wat er komen zal en het practisch bruikbaar maken als consequenties vastzitten, lijdt daarbij geen twijfel; het ganse succes der natuurwetenschap staat klaar, om het te bewijzen.

235. Er zijn echter enke'e punten uit de Gassendistische natuurverklaring, die met het oog op de verdere ontwikkeling van het mechanistisch wereldbeeld een nadere bespreking verdienen. Het zijn de verschijnselen van cohaesie, van warmte en koude en van zwaarte.

De cohaesie, die bij Descartes beschouwd werd als een natuurlijk gevolg van onderlinge rust van ruimtedelen in verband met de algemene traagheidswet (IV: 206), terwijl Galilei haar op twee verschillende wijzen als uitvloeisel beschouwde van wat hij den weerstand van het vacuum noemde (IV: 223 vlg), wordt bij Gassend toegeschreven hetzij aan haak-en-

oog-vormige uitsteeksels waarmee de atomen in elkaar grijpen, hetzij aan een van buiten af uitgeoefenden druk, hetzij aan de afwezigheid van ronde en gladde deeltjes. Het is een verklaringswijze die als voorbeeld kan dienen van een verschuiving van een probleem uit de makro- naar de mikro-wereld: de stevigheid van een haak-en-oog-sluiting, het bijeenhouden van een aantal losse dingen door inwikkeling, de vastheid van een stapel blokken, die in gevaar zou worden gebracht als er ronde bussen of gladde bollen tussen zaten, alles dingen die in het groot verklaring behoeven, worden in het klein begrijpelijk geacht. Een opmerkelijk verschil met Galilei's opvatting van het verschil in aard tussen vastheid en vloeibaarheid bestaat in de beoordeling van de functie der vacuola. Galilei (IV: 224) had ze als bindmiddel gezien en het smelten verklaard door een opvulling van deze holten met igniculi. Gassend meent, dat lichamen juist stevig in elkaar zitten als er weinig tussenruimten tussen de delen zijn, omdat er dan weinig bewegingsmogelijkheid is en hij laat deze bij het smelten juist door het binnendringen van warmteatomen ontstaan.

In de onderstelling van het bestaan van warmteatomen, liever van calorifieke, warmmakende atomen, stemt hij met Galilei overeen; het zijn kleine ronde deeltjes, die hun specifieke verwarmende werking uitoefenen wanneer ze in heftige beweging verkeren. Naast calorifieke neemt hij frigorifieke, koudmakende atomen aan. De overgang van water tot ijs wordt beschouwd als het gevolg van een door zulke atomen uitgeoefenden druk.

236. De zwaarte vormt een moeilijk probleem. Het pondus der atomen heeft er niets mee van doen, omdat dit een aandrang tot beweging is zonder voorkeur voor een bepaalde richting. Verklaring met behulp van een inwendig streven naar een natuurlijke plaats of naar vereniging met een geheel is al evenzeer uitgesloten als een uit de verte uitgeoefende aantrekking: een lichaam kan alleen door onmiddellijk contact met andere lichamen werkingen ondergaan of uitoefenen. Gassend spreekt wel van een vis attrahendi, een aantrekkingskracht, maar niet bij wijze van verklaringsprincipe, maar van probleemstelling: hoe trekt de aarde een lichaam aan? Natuurlijk moet er iets van uitgaan, dat het lichaam bereikt, maar over de nadere uitwerking van dit denkbeeld verkeert hij in onzekerheid. Ook aan hem dringt zich de analogie met magnetische aantrekking op, die ook al niet, zoals de Scholastiek gewild had, door mededeling van een qualiteit kan worden verklaard, wanneer er geen vehikel is aan te wijzen waarop die qualiteit wordt overgebracht. Hij stelt zich nu zowel bij een magneet als bij de aarde de zaak zo voor, dat er een reeks van corpuscula wordt uitgezonden die, hoewel uit discrete deeltjes bestaande, wegens de doorlopende emissie een zekere rigiditeit verkrijgt, zoals we die ook bij een waterstraal opmerken. Dat schijnt echter meer op afstoting dan op aantrekking te zullen uitlopen. Er moet dus nog bij worden ondersteld dat de magnetische en de gravitationele uitstraling, bij

het aan te trekken lichaam gekomen, zich zo ombuigen, dat ze zich als een soort vangarmen in de poriën daarvan kunnen hechten om het zo naar de magneet of de aarde toe te trekken. Dit verklaart ook het zwakker worden van de aantrekking bij toenemenden afstand: het lichaam wordt dan door minder vangarmen bereikt.

237. De zeer subtiele, immers door alle lichamen heendringende gravitationele uitstraling van de aarde is toereikend om te verklaren waarom een lichaam valt. Zij zou zelfs, alleen werkende, een versnelde valbeweging veroorzaken, maar deze zou, zoals Gassend uitvoerig betoogt[86], niet versneld zijn volgens Galilei's wet der oneven getallen, maar zo, dat de wegen, in opvolgende gelijke tijden afgelegd, zich als de opvolgende gehele getallen zouden verhouden. Hij acht het dus nodig, een tweeden invloed te hulp te roepen om tot de ware valwet te komen en daarvoor kiest hij de stuwende kracht der lucht; deze kan echter pas beginnen te werken, wanneer de beweging eerst door de attractie is ingeleid. Over de wijze, waarop hij zo ten slotte toch nog op de valwet van Galilei uitkomt, zullen we hier niet verder spreken.

238. Met het oog op de toepassing van Gassend's denkbeelden in de chemie is nog van belang, dat hij aan bepaalde groeperingen van atomen die hij concretiunculae of moleculen noemt, een zelfstandig bestaan toekent. Dat maakt het mogelijk, met minima van de vier elementen aarde, water, lucht en vuur of van de drie principia mercuur, sulfur en sal te opereren en daarbij het feit dat en de wijze waarop deze minima zelf weer uit atomen zijn opgebouwd, tijdelijk buiten beschouwing te laten.

239. Hoewel de theorie der materie van Gassend op principiële punten van die van Descartes verschilt, wordt ze daarmee in de verdere ontwikkeling der natuurwetenschap vaak in één adem genoemd en wordt tussen Gassendistische en Cartesiaanse corpusculairtheorie nauwelijks onderscheid gemaakt. Den grond daarvoor hebben we bij de bespreking van Descartes reeds leren kennen (IV: 218): een als geheel rustend of zich bewegend ruimtedeel gedraagt zich volkomen als een atoom of molecuul en een holte die met celeste materie gevuld is als een vacuum.

Niettemin blijven de verschilpunten aanzienlijk en er is een, waarop we nog de aandacht willen vestigen. Terwijl namelijk Descartes aanneemt, dat de bewegingen van de ruimtedelen zo geregeld zijn, dat de totale impulsgrootte in de wereld constant is maar de impuls van een individueel corpusculum binnen zeer wijde grenzen kan veranderen, blijft volgens Gassend de bij de schepping aan een atoom ingeprente impetus daaraan tot het einde der wereld onveranderlijk eigen. Ook bij hem is dus de totale impulsgrootte wel constant, maar als gevolg van het constant blijven van de afzonderlijke termen der som. De aan een atoom meegedeelde impetus is zo aanzienlijk, dat het atoom zich, als het niet gehinderd werd, met een zeer grote snelheid zou bewegen. Het wordt echter voortdurend wèl gehinderd, doordat andere atomen het in den weg zitten, en dus telkens

opgehouden. Gedurende die rustpozen, die natuurlijk ook heel lang kunnen duren, is echter de impetus als aandrang tot beweging onveranderd aanwezig en zodra het atoom wordt vrijgelaten, vervolgt het zijn weg met de oorspronkelijke snelheid. Hoe groot de in een zeker tijdvak afgelegde weg is, hangt dus af van de verhouding van de som der bewegings- tot die der rustpozen, zoals de dichtheid van een lichaam bepaald wordt door de verhouding van de totale massa (som der atoomvolumina) tot het totale volume, waarin dat van de vacuola die de atomen scheiden, mede inbegrepen is.

Het enige wat dus aan een atoom verandert is de richting van de beweging. Men moet zich dus de zaak niet zo voorstellen, dat de atomen als volkomen veerkrachtige bollen tegen elkaar botsen. De soliditas van elk atoom maakt alleen, dat een ander atoom dat er tegen botst, een tijdlang wordt opgehouden of met behoud van de grootte der snelheid in een andere richting voortgaat dan waaruit het gekomen was. Daar Gassend niets zegt over de wetten die deze nieuwe richting bepalen, kan er natuurlijk van een mathematische uitwerking van zijn theorie evenmin sprake zijn als bij Descartes, wiens algemene wet van behoud van de impulsgrootte samen met de traagheids- en botsingswetten ook lang niet toereikend was, het verloop der natuurverschijnselen vast te leggen. In verband met de onbegrensde verscheidenheid in de gedaanten der corpuscula zou een mathematische behandeling ook bij een nadere precisering der wetten onmogelijk geweest zijn.

240. Het gevolg is, dat noch de cartesiaanse noch de gassendistische physica, hoewel ze geen andere qualiteiten der materie als reëel erkennen dan die door geometrisch-mechanische kenmerken bepaald worden, in dien zin mathematisch van aard zijn, dat ze een wiskundige behandeling van de corpusculaire processen trachten te geven. Alles blijft in het vaag qualitatieve en van een experimentele toetsing van de juistheid der opgestelde theorieën is dan ook geen sprake. Op grond van een eigenaardig soort corpusculaire phantasie worden verklaringshypothesen opgesteld, die men meer of minder aannemelijk kan achten, maar die op geen enkele wijze vatbaar zijn voor controle.

Deze neiging tot onverantwoorde hypothesenvorming heeft ook van de zijde van tijdgenoten die in beginsel wel met de corpusculair-theoretische richting in de physica en de chemie instemden, critiek uitgelokt

> ‘Ik zou,’ schrijft Hobbes[87], ‘met anderen waarschijnlijke gissingen kunnen maken over de verschillende gedaanten der atomen, waaruit een stof met een zekere smaak bestaat, of over de verschillende bewegingen, die ik aan die atomen bij wijze van onderstelling zou kunnen toekennen, aan zoete stoffen een langzame cirkelbeweging, waardoor het smaakorgaan gestreeld wordt, aan bittere een heftige cirkelbeweging en hoekige gedaanten, waardoor het orgaan wordt aangetast, aan zure een heen en weer gaande rechtlijnige beweging en langwerpige vormen van kleine breedte, waardoor het

> orgaan gewond wordt en zo ook voor de andere smaken iets, hetzij over de beweging, hetzij over de gedaanten der atomen kunnen bedenken, dat waarschijnlijk zou kunnen lijken, wanneer ik mij had voorgenomen uit de Philosophie in het raden te vluchten.

En Pascal spreekt naar aanleiding van de beschouwingen van Descartes deze gedachte uit[88]:

> 'Il faut dire en gros: "Cele se fait par figure et mouvement," car cela est vrai. Mais de dire quels, et composer la machine, cela est ridicule. Car cela est inutile, et incertain et pénible. Et quand cela serait vrai, nous n'estimons pas que toute la philosophie vaille une heure de peine.'

Waarbij men onder philosophie de philosophie naturelle moet verstaan, la science des choses extérieures.

G. De mechanisering van de qualiteiten[89]

241. Nu we door kennismaking met de denkbeelden van de drie grote figuren Descartes, Galilei en Gassend een indruk hebben gekregen van de omvorming in mechanistischen zin, die de natuurphilosophie in de zeventiende eeuw heeft ondergaan, zal het niet nodig zijn, ook nog de verschillende variëteiten in de mechanistische opvatting die bij auteurs van het tweede plan voorkomen, te behandelen. We kunnen volstaan met vast te stellen, dat de nieuwe beschouwingswijze snel veld wint en dat in de tweede helft van de eeuw de onderscheiding tussen de primaire, geometrisch-mechanische qualiteiten, die geacht worden aan een physisch lichaam als zodanig werkelijk eigen te zijn, en de secondaire, die slechts namen zijn voor de waarnemingsgewaarwording en de gevoelens van lust en onlust die wij door toedoen of naar aanleiding van physische processen in de buitenwereld ervaren, algemeen wordt aanvaard, ja zelfs als vrijwel vanzelfsprekend wordt beschouwd.

De gemaakte onderscheiding kan worden omschreven als een objectivering van de primaire en een subjectivering van de secondaire qualiteiten, d.w.z. men beschouwt de eerste als objectief, onafhankelijk van een waarnemend subject in het waargenomen physisch lichaam aanwezig, en de laatste als slechts in het bewustzijn van den waarnemer, *in mente*, bestaand. Echter stelt men zich voor, dat zulk een bewustzijns-inhoud, b.v. de gewaarwording, dat een lichaam warm is, wordt veroorzaakt door een toestand van dat lichaam, die door middel van de zintuigen de gewaarwording, die wij met het woord warm aanduiden, bij ons opwekt en die toestand moet nu weer door geometrisch-mechanische kenmerken, b.v. vorm en beweging van speciale atomen, worden gekarakteriseerd. In dien zin, dus aan den kant van het object, worden de secondaire qualiteiten gemechaniseerd: de primaire zijn van het begin af mechanisch van aard en de secondaire worden hiertoe teruggebracht. Dat de primaire qualiteiten, grootte, gedaante, beweging ons toch ook alleen

maar in de zinlijke waarneming gegeven zijn en dat dus de gehele onderscheiding eigenlijk geen zin heeft, wordt slechts zelden opgemerkt. Het gevoel, dat we in wiskunde en mechanica schijnbaar zonder enig beroep op de zintuiglijke ervaring zulk een omvangrijke en door het gevoel van evidentie begeleide kennis van de geometrisch-mechanische qualiteiten kunnen verwerven, voert er onweerstaanbaar toe, hieraan een geheel aparte positie toe te kennen.

242. Nu het niet meer als probleem gezien wordt, òf alle natuurverschijnselen wel mechanistisch verklaard kunnen worden, krijgt de vraag, hoe men die verklaring dan wel geven moet, als program voor de natuurwetenschap een verhoogde betekenis. De in de Scholastiek gebruikelijke methode, voor elk der vele verschillende aan een lichaam waar te nemen eigenschappen een speciale in dat lichaam residerende qualiteit te onderstellen, die de aanwezigheid van die eigenschap geacht wordt te verklaren, wordt als niets ophelderend verworpen en iedere ware of schijnbare terugkeer tot die denkwijze met heftigheid als zodanig gebrandmerkt. Slechts grootte, gedaante en bewegingstoestand van corpuscula, aangevuld met eveneens geometrisch bepaalbare kenmerken van hun aggregaten, worden als verklaringsprincipes erkend.

Deze verandering van standpunt wordt door verscheidene auteurs in de zeventiende eeuw in verband gebracht met de door Willem van Ockham ingevoerde nominalistische denkwijze, ja als onmiddellijke consequentie uit de beginselen daarvan beschouwd. Dit moge in zoverre niet gemotiveerd zijn, dat Ockham zeker niet de radicale verwerping van alle niet geometrisch-mechanische qualiteiten kent, die het wezen der mechanistische natuurphilosophie uitmaakt, het vindt steun in het feit, dat hij de overdracht van de in een lichaam huizende qualiteiten op de zintuigen met behulp van species reeds even principieel bestrijdt als dat in de zeventiende eeuw zal gebeuren en in den sterken nadruk dien hij altijd had gelegd op de wenselijkheid, niet meer entia, dus ook niet meer qualiteiten, aan te nemen dan strikt noodzakelijk is. Dat men nu de verschillende aan een lichaam op te merken physische eigenschappen, in plaats van door een veelheid van qualiteiten ad hoc, verklaarde met behulp van zijn corpusculaire structuur, werd als een onmiddellijke toepassing van dit oeconomie-principe gezien. Daarom kan de Duitse atomist Jungius Demokritos ook als een Occamist betitelen. Digby beroept zich uitdrukkelijk op het methodisch beginsel van het nominalisme en Hobbes drukt hetzelfde inzicht in zijn verhandeling *On human nature* uit in de grondsteling *All conceptions proceed from the action of the thing itself*. Zo zien we opnieuw Ockham aangewezen als den diepsten middeleeuwsen wortel, waaruit de klassieke natuurwetenschap zou zijn gegroeid.

243. Had de mechanistische beschouwingswijze voor de natuurwetenschap de betekenis van een stimulerend program, dat ook inderdaad niet in gebreke is gebleven, haar groei te bevorderen, de wijsbegeerte werd er

door geplaatst voor het moeilijke vraagstuk, op welke wijze nu eigenlijk de wereld van ons bewustzijn, van onze waarnemingen en gevoelens, samenhangt met de zo gans anders geaarde wereld der mechanische processen buiten ons. De natuurwetenschappen stonden voor de wel zware, maar succes belovende taak, mechanische stelsels te verzinnen, waardoor rekenschap kon worden gegeven van physische feiten, de wijsbegeerte echter voor het hopeloze probleem, psychische verschijnselen uit physische af te leiden. Het is geen wonder, dat hun wegen uiteen zijn gaan lopen, dat de natuurwetenschappen eigen paden zijn gaan volgen zonder zich veel te bekommeren om de wijsgerige rechtmatigheid van wat ze deden en dat de wijsbegeerte steeds minder in staat is gebleken, ten aanzien van de studie der natuur de leidende functie te vervullen die haar in een ideale samenwerking van alle geestelijke vermogens zou hebben moeten toevallen.

De mechanistische natuurwetenschap heeft er uiteraard naar gestreefd, het gebied waarop haar verklaringsbeginselen nog van toepassing waren, zover mogelijk in de richting van het waarnemend subject uit te breiden. Zij heeft waarnemingstheorieën opgesteld, waarin ondersteld werd, dat atomen van buiten af zouden doordringen in de poriën en kanalen der zinsorganen en daardoor een beweging zouden opwekken in de zenuwen en de materieel gedachte spiritus animales, die door deze naar de hersenen en van daaruit eventueel nog door arteriën naar het hart zouden worden overgebracht. Het is echter duidelijk, dat daardoor de scheidingslijn, waarvoor het mechanistisch denken onherroepelijk halt moet houden, slechts een eind naar binnen toe verschoven werd, maar dat het metaphysisch probleem van den samenhang van het physische en het psychische er even onopgelost door bleef. Op de verschillende in de zeventiende eeuw ondernomen pogingen, van dien samenhang niettemin rekenschap te geven, zullen we hier niet ingaan.

244. Thans terugkerend tot de mechanistische natuurwetenschap moeten we er nog op wijzen, dat er meningsverschillen bestonden over de vraag, welke nu eigenlijk de qualiteiten zijn, die als objectief bestaand aan de lichamen buiten ons kunnen worden toegekend en die als laatste, niet verder herleidbare verklaringsprincipes mogen worden gebruikt. Volgens het strenge mechanicisme zijn dat voor de afzonderlijke atomen alleen grootte, gedaante en beweging, maar daarnaast blijkt de onderstelling van ondoordringbaarheid der materie onmisbaar en het gaat er nu maar om, of deze al dan niet uit de zuiver mechanische grondprincipes kan worden afgeleid. Descartes heeft getracht, haar als gevolg van de uitgebreidheid te beschouwen[90], maar de meeste van zijn directe of indirecte volgelingen achten het nodig, haar als zelfstandige eigenschap te postuleren. Zo iets lokt dan echter altijd kritiek van streng-mechanistische zijde uit en in de qualificatie niet-mechanisch schuilt dadelijk het verwijt, dat men zich toch nog niet geheel bevrijd heeft van de qualiteitenphysica der Middeleeuwen. Wanneer Huygens de uitgebreidheid alleen onvoldoende acht

om de corpuscula impenetrabel en onbreekbaar te maken en de *dureté parfaite* erbij onderstelt, komt Papin met de opmerking[91] *que c'est là supposer une qualité inhaerente qui noits eloigne des Principes Mathematiques ou Mechaniques*. Hij licht dit bezwaar toe aan het voorbeeld van pen atoom, waarvan men b.v. het Oostelijke deel een stoot in Zuidelijke richting geeft; er is nu geen enkele mechanische reden, dat het Westelijk deel mee zal gaan. Zuiver mechanistisch gezien bestaat er geen enkele band tussen de delen van een atoom; dat een lichaam den indruk van hardheid maakt, moet verklaard worden uit beweging van een omringend fluidum, waardoor de minst sterk bewogen delen tegen elkaar worden gedrukt. De beantwoording van deze tegenwerping geeft Huygens aanleiding[92] nog eens in het licht te stellen, hoe absurd het van Descartes was, zijn oorspronkelijk kubische ruimtedelen door botsingen tot bolletjes te laten afslijpen. Want wanneer dat gemakkelijk gegaan is, wat houdt de bolletjes dan in stand? En als het onder overwinning van een weerstand gebeurd is, waaraan is die weerstand dan toe te schrijven?

Wij zullen thans eerst de ontwikkeling van de mechanistische denkwijze in de leer van de structuur van de materie verder vervolgen door over het werk van Robert Boyle te spreken.

H. Robert Boyle[93]

245. Omstreeks het midden van de zeventiende eeuw is de situatie op het gebied van de structuur der materie deze geworden, dat er vier verschillende stromingen naast en ten dele ook door elkaar heen lopen:

1) De peripatetische leer der vier elementen, waarin echter het oorspronkelijk essentiële kenmerk van homogeniteit der minima naturalia reeds ten gunste van de opvatting van de kleinste deeltjes van een chemische verbinding als aggregaten van zelfstandig voortbestaande deeltjes verloren begon te gaan.
2) De van Paracelsus afkomstige, als Spagyristisch aangeduide leer van de drie principia of tria prima: sal, sulfur, mercuur.
3) De Cartesiaanse leer van de met uitgebreidheid identieke materie, die echter in drie graden van fijnheid voorkomt.
4) De door Gassend tot nieuw leven gewekte Demokritisch-Epicuraeïsche atoomtheorie.

Dat deze verscheidenheid zich in de tweede helft van de eeuw hoe langer hoe meer in een eenheid van opvatting is gaan oplossen, is voornamelijk te danken geweest aan het deels kritische, deels verzoenende optreden van den Engelsen natuuronderzoeker Boyle. Deze heeft namelijk de eerste twee opvattingen bestreden door langs proefondervindelijken weg de onhoudbaarheid van een opbouw van alle stoffen uit de vier elementen of de drie principia aan te tonen en de laatste twee in een corpusculairtheorie, waarin het Gassendistisch karakter overheerst, verenigd.

246. Het eerste deel van dit werk wordt verricht in Boyle's meest bekend geworden werk *The Sceptical Chymist*[94] (1661; [2]1680), dat in zoverre als het begin van een nieuw tijdvak in de geschiedenis van de chemie beschouwd kan worden, dat het een oud afsluit. De titel geeft volkomen den inhoud weer: het is uitsluitend skeptisch en kritisch van aard. De schrijver wil alleen op grond van experimenten de onhoudbaarheid van de Aristotelische en Spagyristische theorieën aantonen, terwijl hij van zijn eigen corpusculaire opvattingen niet meer dan de beginselen en deze nog slechts in den vorm van denkbaarheden meedeelt. De opzet weerspiegelt zijn persoonlijkheid, die vooral in het begin van zijn wetenschappelijke loopbaan gekenmerkt wordt door grote voorzichtigheid in het aanvaarden of uitspreken van bindende dogmatische beweringen (*I met with very few opinions that I can entirely acquiesce in*, bekent hij[95], en elders voegt hij hieraan toe, dat de meningen van anderen hem nauwelijks minder kunnen bevredigen dan zijn eigene) en in een uitgesproken behoefte, uiteenlopende denkwijzen met elkaar te verzoenen. Wanneer dan ook in de samenvatting van het gevoerde gesprek[96] geconstateerd wordt, dat de spreker Carneades (die zijn eigen spreekbuis is) aannemelijk heeft gemaakt, dat de door verhitting uit een samengesteld lichaam verkregen ontledingsproducten noch enkelvoudig noch drie in aantal noch de dragers van bepaalde qualiteiten zijn (alle drie stellingen van de Spagyristen), wordt er dadelijk aan toegevoegd, dat hij daarentegen nu wel zal willen toegeven, dat alle minerale lichamen waarschijnlijk toch wel uit een zouteen zwavel- en een kwikachtig bestanddeel bestaan en dat bijna alle lichamen van plantaardigen en dierlijken oorsprong door vuur kunnen worden gesplitst in vijf substanties, die salt, spirit, oil, phlegm en water kunnen heten, dat verder deze verschillende stoffen, hoewel niet enkelvoudig, toch wel als elementen van de samengestelde lichamen kunnen worden beschouwd en dat speciaal de geneeskrachtige qualiteiten die verbindingen vertonen, in een van deze elementen kunnen geacht worden te resideren.

Dat hiermee de uitgeoefende kritiek voor een groot deel weer wordt teruggenomen, heeft niet belet, dat zowel de leer der vier elementen van Aristoteles als die der drie principia van Paracelsus na het verschijnen van *The Sceptical Chymist* langzamerhand in onbruik zijn geraakt.

247. Van een positieven opbouw der chemie als een systematisch te beoefenen zelfstandige wetenschap was intussen nog geen sprake en er zou nog heel wat moeten gebeuren, voordat deze ruim een eeuw later door toedoen van Lavoisier en Dalton zou kunnen plaats vinden. Van *The Sceptical Chymist* te spreken als van het eerste moderne leerboek der scheikunde, zoals wel gebeurt, kan men dan ook alleen doen, als men òf het werk nooit gelezen heeft òf een al te grote waarde hecht aan de in den tweeden druk opgenomen definitie van een chemisch element, waarin gezegd wordt[97], dat de schrijver onder elementen enkelvoudige lichamen

wil verstaan, die, niet uit andere lichamen of uit elkaar bestaande, de bestanddelen zijn waaruit alle volkomen gemengde lichamen (chemische verbindingen) zijn samengesteld en waarin ze uiteindelijk ontleed kunnen worden. In tegenstelling tot Lavoisier, die niet meer zal verlangen, dan dat ontleding met de ter beschikking staande chemische hulpmiddelen niet gelukt, dus die de z.g. analytische elementen definieert, stelt Boyle dus den eis van wezenlijke onontleedbaarheid. Hij ziet zich dan ook genoodzaakt, er dadelijk aan toe te voegen, dat hij nog niet met zekerheid durft te beweren, dat er elementen bestaan en dus ook niet kan zeggen, hoeveel er zijn en welke.

248. De methodische skepsis die Boyle in *The Sceptical Chymist* tentoonspreidt, heeft hem niet belet zich in latere geschriften een overtuigd aanhanger te tonen van wat hij de corpusculaire of mechanistische philosophie noemt en waarvan hij de grondbeginselen, die in het eerste werk nog slechts waren aangeduid, uitvoerig en beslist formuleert in het in 1666 verschenen geschrift *The origin of Forms and Qualities according to the Corpuscular Philosophy*[98] en in verscheidene andere latere werken.

Het is, evenals bij Gassend, in feite de leer van de antieke atomisten, zo gewijzigd dat het atheïstisch en materialistisch karakter er aan ontnomen is. God heeft bij de schepping de universele materie gedeeld in een groot aantal kleine deeltjes van verschillende grootte en gedaante en deze van elkaar afgezonderd door ze op verschillende wijzen in beweging te brengen. Is hierdoor reeds het element van toeval uit het ontstaan der wereld uitgeschakeld, zo betoogt hij verder nog (tegen Descartes), dat de in beweging gebrachte materie voor de voortbrenging van het stoffelijk heelal ook niet aan zichzelf overgelaten is geweest, maar dat God haar bewegingen zo heeft geleid, dat de gehele wereld en in het bijzonder de zo kunstig samengestelde lichamen der levende wezens er uit gevormd zijn. Daarna is zij zich gaan gedragen volgens de haar opgelegde orde, die wij de natuurwetten noemen, hetgeen echter ook niet zonder Gods voortdurende medewerking geschiedt. Van den physischen kant beschouwd ontstaan echter alle natuurverschijnselen door bewegingen van de kleine deeltjes. In partikels verdeelde materie en beweging zijn de enige verklaringsprincipes waarvan de natuurwetenschap zich mag bedienen. Om de eerste reden heet ze corpusculair, om de tweede mechanistisch.

Na zich aldus van den aanstotelijken kant van het atomisme te hebben gedistancieerd, kan Boyle zich met een gerust geweten aan een zuiver mechanistische natuurwetenschap gaan wijden, waarin voor animistische of finalistische beschouwingswijzen geen plaats is. Evenals Gassend is hij dus practisch atomist; echter vermijdt hij alle termen die met het woord atoom samenhangen en ook wordt hij om de aan dit woord verbonden associaties van wereldbeschouwelijken aard liever niet als Epicurist betiteld.

249. Een wezenlijke trek van Boyle's theorie is, dat hij, evenals Sennert (III: 74), van het begin af kleine atomen tot klompjes, z.g. primaire concreties, samengevoegd denkt, die natuurlijk wel in gedachten of door de goddelijke almacht weer in hun delen kunnen worden gesplitst (voor beide is een atoom ook deelbaar), maar die de natuur slechts zeer zelden weer uit elkaar haalt. Deze primaire concreties vormen nu de elementen waaruit de samengestelde lichamen zullen ontstaan. Deze elementen, die hier dus eenvoudig theoretisch worden gepostuleerd (we zagen immers reeds, dat Boyle er nooit een heeft kunnen aanwijzen), verschillen onderling qualitatief. Echter moeten volgens het grondbeginsel der corpusculair-philosophie deze qualiteitsverschillen worden beschouwd als gevolg van grootte, gedaante, bewegingstoestand, ligging en rangschikking der constituerende atomen, waaruit voor het geheel een zeker patroon resulteert, dat Boyle de textuur van een primaire concretie noemt.

Uit de verschillende elementen kunnen nu verbindingen worden gevormd, waarbij het zowel kan voorkomen, dat de primaire concreties der elementen onveranderd naast elkaar blijven voortbestaan, als dat ze elkaar als het ware doordringen en afbreken en er dus nieuwe primaire concreties ontstaan. De wijze, waarop de primaire concreties in de *mistion*, de verbinding, samenkomen, heet de mixtuur. Textuur en mixtuur worden samen ook als structuur betiteld.

250. Zoals bij alle atomistische verklaringen blijft er natuurlijk meer te vragen over dan er beantwoord is. Er wordt reeds dadelijk niet gezegd, of de primaire concreties al dan niet uit onderling gelijke atomen bestaan, dus of men ze, om aan de moderne chemie een voorbeeld ter verduidelijking te ontlenen, beschouwen moet als een molecuul dat uit twee of meer gelijke atomen is opgebouwd of als een atoom dat subatomen van verschillenden aard volgens een bepaalde structuur bevat. De nadruk die op ligging en rangschikking wordt gelegd, wijst er wel op, dat het laatste de bedoeling is. Ook vernemen wij niet, welk bindmiddel de bestanddelen van een primaire concretie zo stevig samenhoudt, dat ze slechts in uitzonderingsgevallen er weer in gesplitst wordt. Ook blijft het oude raadsel van de mistio, het verschil van haar eigenschappen met die der bestanddelen, natuurlijk onopgelost; mixtuur is immers slechts een naam om het aan te duiden.

Boyle laat niet na, de grote voordelen van de mechanistische beschouwingswijze in het licht te stellen[99]: de toegepaste verklaringsprincipes zijn aanschouwelijk en dus zonder misverstand te hanteren. Zij zijn tot het minimale aantal van twee - materie en beweging - gereduceerd en deze twee zijn de meest primaire en physisch eenvoudigste die men zich denken kan; met hun hulp zullen de meest uiteenlopende verschijnselen verklaard kunnen worden.

Het is van belang, hierbij te bedenken, dat dit alles meer een program van natuurverklaring is dan de verklaring zelf. Boyle doet namelijk in

het geheel geen pogingen om uit te maken, hoe nu de textuur of de mixtuur van bepaalde elementen (die hij daartoe eerst zou hebben moeten kennen) of verbindingen is. Wat hij als methode in beginsel aangeeft is eerst in de negentiende eeuw ten dele en in de twintigste voor een groter deel verwezenlijkt.

251. In het werk *On the Origin of Forms and Qualities* wordt de eenvoud van de mechanistische natuurbeschouwing gesteld tegenover de onbevredigende gewoonte der schoolphilosophie om voor iedere eigenschap van een lichaam een aparte als een reëel ding in dat lichaam huizende en zelfs onafhankelijk van de materie bestaande qualiteit aan te nemen, dus b.v. de verblindende werking van sneeuw toe te schrijven aan haar witheid, die witheid nader te bepalen als datgene op grond waarvan sneeuw wit heet en haar verblindende werking te verklaren door te zeggen, dat het haar natuur is zo te werken[100].

Aan deze kritiek op het werken met z.g. reële qualiteiten verbindt Boyle een bestrijding van het in zijn tijd in de schoolphilosophie gangbare vormbegrip. Wanneer men op grond van het bezit van bepaalde kenmerken bepaalde lichamen tot een soort verenigt, b.v. zware smelt- en smeedbare lichamen als de species metaal van het genus delfstof beschouwt, kan men de verzameling van de gebruikte kenmerken den vorm van die species noemen en haar door dien vorm van andere species onderscheiden. Omdat nu echter alle qualiteiten en andere accidentia van dezen vorm afhangen, zijn de peripatetici dezen gaan beschouwen als een zelfstandig bestaand ding, een substantie, te denken als een soort ziel die, met een zekere hoeveelheid materie verbonden, daarvan een natuurlijk lichaam maakt en daarin door middel van de qualiteiten werkt[101].

Tegenover deze opvatting stelt Boyle die van de corpusculairtheorie: alle eigenschappen van een stof vloeien voort uit de structuur van de partikelcombinatie. Hij wil daarvoor kortheidshalve wel den naam vorm behouden, mits men maar goed bedenkt, dat hij daarmee niet een reële substantie bedoelt die onafhankelijk van de materie bestaat, maar alleen de materie van een natuurlijk lichaam zelf, beschouwd in de bijzondere zijnswijze die door het woord structuur wordt aangeduid. Vorm kan dus omschreven worden als specifieke of naambepalende toestand der materie, als haar essentiële modificatie of, om het heel kort te zeggen, als de stempel, die er op gedrukt is.

252. Op grond van deze en dergelijke beschouwingen heeft A.G.M. van Melsen gezegd[102], dat het Aristotelische begrip van den zijnsvorm bij Boyle het iets gewijzigd aspect van structuur heeft gekregen en daarmee heeft hij felle kritiek uitgelokt van de zijde van R. Hooykaas[103], die dit een spelen met woorden noemt. Hooykaas acht het ontoelaatbaar het voor te stellen, alsof een substantiële vorm, die juist de eenheid en homogeniteit van een substantie moet waarborgen, door een geringe wijziging zou kunnen verkeren in zijn tegendeel, atomistische structuur.

Deze redenering berust op de inderdaad onverzoenlijke tegenstelling tussen een minimum naturale in den zin der Scholastiek, dat, hoewel samengesteld uit de vier elementen, niettemin geen van elkaar onderscheidbare delen bezit èn een primaire concretie in den zin van Boyle, waarin de samenstellende atomen in een bepaalde opstelling aanwezig moeten worden gedacht, of een kleinste deeltje van een verbinding, waarin het zelfde van de primaire concreties geldt. Dat die tegenstelling bestaat en onverzoenlijk is, geeft van Melsen toe, waar hij zegt, dat de idee van zijnsvorm onverbrekelijk verbonden is met het begrip minimum naturale[104] en daarmee schijnt de kwestie in zijn nadeel beslist te zijn.

Is ze het echter ook werkelijk? Dat twee strijdende partijen het over een zekere bewering eens zijn, is nog geen bewijs, dat deze ook juist is. En er bestaat inderdaad in dit geval aanleiding, dit in twijfel te trekken. Het moge waar zijn, dat een zijnsvorm de eenheid van een substantie constitueert, maar er wordt nergens gezegd dat die substantie daarom ook homogeen moet zijn in haar kleinste delen; dat laatste wordt weliswaar in de theorie der minima naturalia ondersteld, maar deze fungeert ten opzichte van de algemene hylemorphistische leer als een nadere uitwerking voor een concreet geval en is geenszins een noodzakelijke consequentie ervan.

Zodra men echter het kenmerk van homogeniteit der kleinste delen laat vallen, verliest het betoog van Hooykaas een groot deel van zijn kracht en dit komt aan de stelling van van Melsen ten goede, mits men deze zo formuleert, dat het structuurbegrip van Boyle niet als wijziging, maar als verbijzondering van het vormbegrip van Aristoteles wordt betiteld.

Het begrip zijnsvorm is namelijk bij Aristoteles allerminst scherp omschreven; het is een betrekkelijk leeg begrip, dat op verschillende wijzen met inhoud gevuld kan worden. Boyle doet het zo, dat hij het organiserend principe van een element of verbinding, de structuur, waardoor het geordende aggregaat van atomen of primaire concreties zich onderscheidt van de ongeordende verzameling dier deeltjes, elk op zich zelf beschouwd, vorm noemt. Dat is ongetwijfeld niet in overeenstemming met de bedoeling van Aristoteles zelf, maar het getuigt van de levensvatbaarheid en onmisbaarheid van zijn vormbegrip, dat het zich bij een zo diepgaande wijziging van opvatting als de overgang van de peripatetische naar de mechanistische natuurwetenschap beduidt, weet te handhaven.

253. Men zal wellicht als argument tegen deze redenering willen aanvoeren, dat Boyle in een afzonderlijk hoofdstuk van zijn werk *On the Origin of Forms and Qualities*, dat den titel *An Examen of the Origin and Doctrine of Substantial Forms as it is wont to be taught by the Peripateticks* draagt[105], zeer nadrukkelijk de leer van de substantiële vormen bestrijdt en dit begrip als volkomen overbodig en zelfs ondenkbaar afwijst. Men houde echter in het oog, dat zijn oppositie zich richt tegen de opvatting van den zijnsvorm als een immateriële substantie, die ongeveer op de

wijze waarop de ziel van een mens zich met het lichaam verenigt, een materiële substantie tot een natuurlijk lichaam zou vormen. Zijn strijd gaat hier dus tegen de bekende misvatting van het Aristotelische hylemorphisme die men de substantificatie van den zijnsvorm pleegt te noemen[106] en die hierop neerkomt, dat men den substantiëlen vorm beschouwt als een vorm die een substantie is, inplaats van als een der twee elementen die door het denken in een substantie onderscheiden kunnen worden; hij wijst er dan ook op, dat hij slechts *the general opinion of our modern Aristotelians* bestrijdt en dat verscheidene commentatoren de leer van hun meester anders en beter hebben opgevat. Het is duidelijk, dat juist de substantificatie van den vorm voor hem onaanvaardbaar is: men kan wel over de structuur van een atoomconfiguratie spreken, maar niet die structuur als een zelfstandig ding naast de atomen laten bestaan. Dat zijn bestrijding, zoals Hooykaas meent, ook de vormleer in haar zuivere opvatting zou gelden, vindt in den tekst geen steun: het gehele stuk door worden materie en zijnsvorm beide als substanties behandeld.

De aanvaarding van den term vorm voor structuur vindt een parallel in de bereidheid om voor de zijnswijze van elementen in een verbinding van gesubordineerden vorm te blijven spreken.

254. Dat wij de mening van van Melsen over de verwantschap van Boyle's structuurbegrip en het Aristotelische vormbegrip met enige wijziging in de formulering delen, sluit geen adhaesie in aan zijn verdere stelling, dat de corpuscula, waarvan Boyle spreekt, practisch het karakter van minima naturalia zouden hebben. Voor de uiterste bouwstenen der materie, de atomen zelf, geldt dit niet omdat zij innerlijk onveranderlijk zijn en de primaire concreties heten weliswaar ook wel minima naturalia, maar onderscheiden zich van de Aristotelische minima door de heterogeniteit van hun samenstelling. Men kan natuurlijk naast de waarschijnlijkheid, dat het begrip primaire concretie uit de practijk van de chemie gegroeid is, de mogelijkheid openlaten, dat het via Sennert uit de scholastieke minimatheorie is voortgekomen, maar in ieder geval heeft het begrip minimum naturale zijn wezenlijke kenmerken bij Boyle dan toch reeds geheel verloren. Ook is er in Boyle's redeneringen niets, waaruit zou blijken, dat hij een tegenstelling voelt tussen verschillende minima-theorieën en nu rekenschap van zijn keuze wil geven.

255. Dat met Boyle om zijn kritiek op de oudere materietheorieën een nieuw tijdperk in de geschiedenis der chemie begint, sluit niet uit, dat hij in andere opzichten zozeer voortzetter van oude tradities is, dat men hem ook wel kan aanhalen als voorbeeld, hoe onder de algemene vernieuwing van het wetenschappelijk denken in de zeventiende eeuw middeleeuwse voorstellingen onverzwakt in omloop bleven. Dit is met name het geval wanneer men hem zich met den grootsten ernst ziet bezig houden met alchemistische onderzoekingen[107]. Reeds in 1652 meent hij uit kwik een mercuur te hebben bereid. dat als zodanig herkenbaar was door

de warmteontwikkeling die het met zuiver goud in fijnverdeelden toestand teweegbracht. Dit was nog wel geen projectie (I: 104), maar er bestond hoop, dat men de oplossing van het transmutatieprobleem nu toch nabij was. Hij hield de ontdekking echter geheim met het oog op de oeconomische gevolgen, die het bereiden van goud met zich mee zou brengen en deed er eerst 23 jaar later een mededeling over aan de Royal Society, die enkele jaren later gevolgd werd door een verhandeling over degradatie van goud tot zilver met behulp van een rode aarde. Vooral de eerste ontdekking trok de algemene aandacht en leidde o.m. tot een van de schaarse contacten die Boyle met Newton gehad heeft. Intussen hadden alle transmutatieverschijnselen zijn levendige belangstelling genoten. In zijn werk *On the Origin of Forms and Qualities* citeert hij als voorbeelden een omzetting van water in aarde door herhaalde distillatie, van planten in dieren en stenen en van planten en dieren onderling[108].

256. Dat het alchemistisch streven den overgang van de peripatetische naar de mechanistische natuurwetenschap zo ongestoord bleek te kunnen overleven, behoeft nauwelijks verwondering te wekken, omdat het denkbeeld van transmutatie hierin even voor de hand liggend moest lijken als in de oudere beschouwingswijze. Wanneer namelijk de qualiteiten van een stof geheel bepaald worden door het patroon van ordening van een zeker aantal onveranderlijke deeltjes, dringt de gedachte, of het niet mogelijk zou zijn, dat patroon te wijzigen en daardoor een geheel andere stof te krijgen, zich van zelf op. Het verdient echter opmerking, dat deze overweging alleen een principiële rechtvaardiging van de alchemistische doelstelling kon geven, maar geen practischen leidraad bij de verwerkelijking daarvan. Zoals we reeds zagen, heeft Boyle (en voor zijn tijdgenoten geldt hetzelfde) nooit een poging gedaan, het atomenpatroon van een bepaalde stof werkelijk te bepalen en zijn corpusculairtheorie kon hem dus niet de minste hulp bieden bij pogingen om dat patroon te veranderen. Het alchemistische werk bleef dus bij hem wat het altijd geweest was: een geheimzinnig geknoei met onzuivere stoffen, geleid door mystieke voorstellingen en vage analogieën, waarbij de lichtgelovigheid een aanzienlijke functie vervulde.

Zodra hij zich met de alchemie gaat bezighouden, is al de skepsis die hij ten aanzien van de Aristotelische en Spagyristische theorieën aan den dag had gelegd, inderdaad volkomen zoek. De oude droom blijkt hem zelfs zozeer te bekoren, dat hij dingen doet en beschouwingen neerschrijft, die meer aan een charlatan doen denken dan aan den ernstigen natuuronderzoeker die hij anders toch ongetwijfeld was.

Het is niet onwaarschijnlijk dat het sterkste practische motief dat hem tot de beoefening der alchemie gedreven heeft, niet zozeer de begeerte naar rijkdom geweest is (al was hij handelsman genoeg om zijn laboratoria ook commercieel te exploiteren)[109] als wel de illusie, het universele geneesmiddel te kunnen bereiden, dat van oudsher de gedachten der alche-

misten in niet mindere mate had vervuld dan de transmutatie der metalen. Paracelsus had er nieuw leven aan gegeven door zijn beweerde ontdekking van de wondervloeistof Alkahest, die den Steen nog in kracht zou overtreffen en Boyle deelde het algemene geloof in haar bestaan.

257. De betekenis van Boyle voor de geschiedenis van de mechanisering van het wereldbeeld bestaat niet alleen daarin, dat hij een onvermoeid en welsprekend verdediger is geweest van de corpusculairtheorie, maar tevens in de ongeëvenaarde grondigheid, waarmee hij zich heeft verdiept in het door vele natuuronderzoekers op den achtergrond gedrongen, maar daarom niet minder brandende probleem van de consequenties voor de relaties tussen geloof en wetenschap die de nieuwe natuurbeschouwing met zich meebracht[110].

Het antieke atomisme, dat in de corpusculairtheorie toch in wezen herleefd was, had altijd een uitgesproken antireligieuse strekking bezeten en al de moeite die Gassend zich gegeven had, om het voor Christenen aannemelijk te maken door het bestaan en de eigenschappen der atomen aan een scheppingsdaad Gods toe te schrijven, was niet in staat geweest, er die strekking aan te ontnemen. De schepping heeft lang geleden plaats gehad; wanneer de atomen eenmaal in het aanzijn zijn geroepen en in beweging zijn gebracht en dan verder overgelaten zijn aan wederzijdse beïnvloeding, is alles weer juist als bij de Epicuraeërs. Wanneer men aan den Schepper eenmaal de Hem toekomende eer bewezen heeft, door te erkennen dat hij de gehele machinerie in elkaar heeft gezet en er den eersten stoot aan gegeven heeft, behoeft men verder geen acht meer op Hem te slaan en de wereldbeschouwelijke consequenties waartoe de mechanistische philosophie welhaast onvermijdelijk scheen te moeten leiden, waren dan ook in de zeventiende eeuw geen andere dan in de Oudheid.

Het allerduidelijkste blijkt dit wel uit de zuiver materialistische metaphysica van den Engelsen philosoof Thomas Hobbes, die alle bewustzijnsverschijnselen even goed uit de materie en haar beweging afleidt als de processen der anorganische natuur en daarom ook het bestaan van immateriële substanties ontkent. En wanneer zijn werken er eens niet waren geweest, zouden de ongerustheid ten aanzien van den invloed van het mechanicisme op het godsdienstig leven, die in de zeventiende eeuw bij verscheidene theologen en philosophen tot uiting komt, en de omvangrijke apologetische werkzaamheid waartoe Boyle er door gedreven is, een voldoend bewijs voor het veldwinnen van de materialistische metaphysica vormen.

258. Het doel dat Boyle met zijn omvangrijke geschriften over de relatie van geloof en wetenschap vervolgt, bestaat in een tweezijdige apologie. Hij wil evengoed het geloof verdedigen tegen kritiek en twijfel van de zijde der natuurwetenschap als het goed recht van de mechanistische natuurbeschouwing tegen de bedenkingen der theologen handhaven.

Vandaar de titel van zijn hoofdwerk op dit gebied, die de toelichting verveist, dat het in dien tijd gebruikelijk was, iemand met natuurwetenschappelijke belangstelling een *virtuoso* te noemen[111] en dat Boyle dien naam speciaal gebruikt voor serieuse beoefenaren der experimentele natuurwetenschap: *The Christian Virtuoso*: *shewing, that by being addicted to Experimental Philosophy, a man is rather assisted than indisposed to be a good Christian*[112].

De positie die Boyle ten opzichte van de beide vijandige partijen innam, maakte hem voor het ondernomen werk bij uitstek geschikt. Zelf orthodox Anglicaan, uitmuntend theologisch ontwikkeld en met de beste godgeleerden van zijn tijd door vriendschapsbanden verbonden, anderzijds natuuronderzoeker van groot gezag en als leek gevrijwaard tegen het verwijt van voor eigen parochie te preken, kon hij van een aandachtig gehoor in beide kampen verzekerd zijn.

Wij zullen hem bij zijn apologetische werkzaamheid niet op den voet volgen, maar slechts enkele hoofdpunten daaruit aanstippen. Zijn voornaamste stelling, reeds kort aangegeven in den titel van het hoofdwerk, is, dat de studie der natuur op mechanistischen grondslag, wel verre van den Christelijken godsdienst in den weg te staan, dezen veeleer bevordert en dat het daarom voor een Christen niet slechts toelaatbaar is, zich op haar toe te leggen, maar zelfs een dure plicht voor hem beduidt. Om dat duidelijk te maken, beroept hij zich vooral op den steun dien de natuurwetenschap aan de natuurlijke religie kan verlenen. God heeft zich ook in de natuur geopenbaard en de intellectuele beschouwing van het heelal mag dan ook in zoverre *the first act of religion* heten, dat zij, in den juisten geest bedreven, leidt tot de erkenning, dat de wereld door een intelligente oorzaak moet zijn voortgebracht. Zijn voornaamste argument is natuurlijk de kennelijke doelmatigheid van de schepping en de ondenkbaarheid, dat zij het product zou kunnen zijn van toevallige atoombewegingen. In het bijzonder betoogt hij nog tegen de deïstische opvatting, die Gods medewerking aan het instandhouden van de Natuur overbodig achtte omdat alles toch volgens vaste wetten verloopt, - hier lag nog meer dan in het zuiver atheïstische standpunt het door de theologen gevreesde gevaar voor het godsdienstig leven - dat men zich niet door het woord wet moet laten verleiden tot de mening, dat onbezielde lichamen zich als het ware eigener beweging naar zekere voorschriften zouden gedragen[113]. Zij worden voortdurend beheerst door dezelfde macht die ze ook heeft voortgebracht en die nu maakt, dat ze zich volgens bepaalde wetten bewegen; de natuur blijft dus slechts in stand doordat God haar onderhoudt. In dit verband oefent Boyle ernstige kritiek uit op een ondoordacht gebruik van het woord natuur, dat men maar al te vaak opvat als aanduiding van een zelfstandig wezen gaat zien, dat zich gedraagt naar regels die het zelf heeft vastgesteld, maar waarvan het zo nu en dan ook afwijkt[114].

Dat Boyle zijn uitgangspunt neemt bij de natuurlijke religie, sluit niet

in, dat hij daarbij blijft staan; de algemene openbaring, die God in de natuur heeft geschonken, is slechts de voorbereiding op de bijzondere, die in de H. Schrift vervat is. Getrouw blijvend aan zijn empiristisch standpunt beschouwt Boyle daarbij de overgeleverde ervaring als den diepsten grond die de rede tot aanvaarding van de bijzondere openbaring verplicht.

259. Het heeft wellicht reeds de aandacht getrokken, dat in de boven kort weergegeven rechtvaardiging van de natuurwetenschap voor het forum van het Christelijk bewustzijn niets gezegd is, dat speciaal de mechanistische theorieën betreft. Toch zijn deze wel in het betoog betrokken geweest. De beschouwingen van stoffelijke dingen, die zich volgens vaste regels bewegen en daarbij tot zo verwonderlijke resultaten leiden als tot in de kleinste organen van levende wezens zijn op te merken (Boyle noemt het oog van een vlieg een groter wonder dan de zon)[115] wekt telkens weer de associatie met een kunstig in elkaar gezette machine op en leidt veel ongedwongener tot de voorstelling van een intelligenten Maker dan een wijze van natuuronderzoek die er zich niet in verdiept, hoe de dingen tot stand komen en functioneren, maar zich met woorden als qualiteit en vorm tevreden stelt. De vergelijking van wat zich in de natuur onophoudelijk en in onvoorstelbare veelvuldigheid afspeelt met wat de vernuftige en nijvere mens uit eigen middelen op het gebied van constructie van werktuigen vermag, roept onweerstaanbaar het beeld van den bovenmenselijken mechanicus op, die dit alles in bewust overleg tot stand brengt. De vergelijking van de natuur met een uurwerk, in het bijzonder met de grote klok van den Munster te Straatsburg, waarvan de uiterst gecompliceerde en ingenieuse constructie de geesten in dien tijd alom vervult[116], keert telkens terug en het dierlijk lichaam wordt zelf ook als *engine* betiteld. Het mechanicisme krijgt door de volstrekte afwijzing van het toeval als verklaringsprincipe en door den nadruk die op de doelmatigheid der schepping gelegd wordt, een karakter dat men het best door het woord machinicisme zou kunnen uitdrukken.

260. Bij al zijn pogingen om de verenigbaarheid van de mechanistische natuurwetenschap met het Christelijk geloof aan te tonen, is Boyle er voortdurend op uit, haar zelfstandigheid ten opzichte van de theologie en de metaphysica te handhaven. Zolang de experimentele natuuronderzoeker als zodanig werkzaam is, kent hij noch immateriële substanties, noch doeloorzaken; slechts materie en beweging worden als verklaringsprincipes erkend. Boyle hoedt er zich echter zorgvuldig voor, de essentiëel materialistische beschouwingswijze die de natuurwetenschap naar zijn inzicht vereist, uit te breiden op het terrein van het psychische en dus met Hobbes ook het bewustzijn in de algemene wetmatigheid van het physisch heelal te betrekken. Aan de mechanistische natuurwetenschap wordt een eigen scherp bepaald gebied van het kennen toebedeeld, waarop zij souverein is, maar waarvan zij de grenzen in acht moet nemen.

Het is natuurlijk moeilijk, vast te stellen, welke invloed van Boyle's beschouwingen over de relatie van geloof en wetenschap is uitgegaan. Het is niet onwaarschijnlijk, dat zij meer gesproken zullen hebben tot Christelijke denkers met natuurwetenschappelijke belangstelling dan tot niet religieus aangelegde virtuosi. Het moet gemakkelijker zijn geweest, de eerste categorie te bevrijden van een ongemotiveerden angst dan de tweede langs den weg der redenering een overtuiging bij te brengen die, ondanks alle verzekeringen van conformiteit met de rede, deze toch wezenlijk transcendeert.

In ieder geval vormen echter de vele geschriften die Boyle aan het onderwerp gewijd heeft, een belangwekkende bijdrage tot de kennis van de onderlinge betrekking van natuurwetenschap en Christendom, terwijl ze tevens een duidelijk beeld van zijn irenische persoonlijkheid geven.

J. Pneumatica

a. *Blaise Pascal*

261. De naam Boyle wekt bij een hedendaagsen lezer natuurlijk allereerst de gedachte op aan de naar hem genoemde betrekking tussen spanning en volume van een afgesloten hoeveelheid gas en aan proeven met de luchtpomp. Zijn werk op dit gebied hoort echter thuis in een ontwikkeling die reeds voor hem begonnen was, zodat we om haar te kunnen beschrijven iets terug zullen moeten gaan in den tijd.

Wij knopen daartoe aan bij de opzienbarende *Esperienza del Argento Vivo*, die Torricelli in 1643 te Florence door Viviani had laten doen, de nog steeds naar hem genoemde barometerproef[117]. Het was wel niet het eerste experiment, waardoor werd aangetoond, dat een vloeistof in een aan een zijde gesloten buis, waarvan het open uiteinde zich onder den vloeistofspiegel in een wijder vat bevindt, niet boven een bepaalde hoogte kan blijven staan[118], maar het was wel het eerste, waarbij door gebruik van het soortelijk zware kwik de afmetingen binnen redelijke grenzen bleven, zodat de proef gemakkelijk door anderen kon worden herhaald.

De proef van Torricelli is in tweeërlei opzicht voor de vernieuwing van het wetenschappelijk denken van belang geworden: vooreerst heeft haar verklaring met behulp van luchtdruk de volkomen overeenstemming tussen de hydrostatische en de aërostatische verschijnselen aan het licht gebracht en daardoor de theorie van den horror vacui overbodig gemaakt maar bovendien heeft zij de natuurkundigen van verschillende schakering gedwongen, de houdbaarheid van hun theorieën aan een nieuw feit, de ogenschijnlijk lege ruimte boven het kwik, te toetsen. Zij heeft deze tweeledige functie echter eerst ten volle vervuld, toen zij in 1646 in Frankrijk bekend was geworden en daar door Pierre Petit in samenwerking met

Etienne Pascal en zijn zoon Blaise was herhaald. Het bleek toen, dat er ten aanzien van het dubbele probleem 1) of lucht op haar natuurlijke plaats gewicht had en of dit gewicht in staat kon worden geacht, een kwikzuil van ca 76 cm lengte te dragen; 2) of de boven het kwik vrijgekomen ruimte al dan niet leeg was, vierderlei standpunt kon worden ingenomen. Men kon namelijk voor of tegen de *colonne d'air* zijn (aldus de gangbare term om de verklaring van de proef met behulp van luchtdruk aan te duiden) en voor of tegen *le vide* in de ruimte boven het kwik. En daar de wijze waarop men in de eerste kwestie partij trok, geheel onafhankelijk was van de opvatting, die men in de tweede huldigde, ontstonden vanzelf vier combinaties van meningen, die ook inderdaad alle vier hun aanhangers hebben gevonden: de peripatetische physici waren tegen beide hypothesen; Descartes en zijn volgelingen aanvaardden de *colonne d'air*, maar verwierpen *le vide*; Roberval, de wiskundige van het Collège de France, die het als een roeping beschouwde, Descartes in alle opzichten tegen te spreken, geloofde van de *colonne d'air* niets en was van *le vide* vast overtuigd en Blaise Pascal koos voor beide hypothesen.

262. Dit viertal opvattingen vormde nog slechts een globale indeling: de tegenstanders van *le vide* verschilden onderling nog weer sterk van mening over de vraag, wat nu eigenlijk de schijnbaar lege ruimte boven het kwik vulde. Volgens de echte Aristotelici was bij het vullen van de buis of bij het afsluiten met den vinger een uiterst kleine hoeveelheid lucht, een luchtatoom, in de buis achtergebleven; bij het dalen van het kwik werd dit atoom nu als het ware uitgerekt, zodat het de gehele door het kwik vrijgelaten ruimte vulde; de kwikzuil trok er aan als een gewicht aan een opgehangen veer en op de vraag, waarom het niet nog verder daalde, kon geantwoord worden, dat het luchtatoom zijn uitersten graad van uitrekking had verkregen. Een geheel andere opvatting was die van Descartes: volgens hem was bij het dalen van het kwik in de buis en het daardoor veroorzaakte stijgen van den vloeistofspiegel in den bak een hoeveelheid lucht binnengedrongen in de met subtiele materie gevulde ruimte, die den dampkring omhult; daardoor was een deel van die subtiele materie vandaar verdrongen, welke verplaatsing, zich voortplantend in de subtiele materie die in den dampkring aanwezig is, ten slotte het binnentreden van een aequivalente hoeveelheid van dezelfde stofsoort door den glaswand heen in de ruimte boven het kwik had teweeggebracht. Hiermee verwant, maar in uitwerking er toch weer van verschillend, was de theorie van den Jezuïet Noël, die op La Flèche een der leermeesters van Descartes geweest was en die zich nu beijverde, de physische denkbeelden van zijn genialen leerling met de traditionele voorstellingen van de School in overeenstemming te brengen. Hierin werd ondersteld, dat het dalende kwik de vurige partikels, die tijdens het verblijf in den smeltoven in het glas van de buis gedrongen waren, met zich mee sleepte en dat door de hierdoor vrijgekomen poriën een hoeveelheid van het zuivere

element lucht uit de de buis omringende dampkringslucht (die zelf een mengsel is van alle vier elementen, waarin echter lucht overheerst) naar binnen was gezogen. Weer anderen namen een vulling aan met dampen die uit de vloeistof waren opgestegen of, in de termen van dien tijd, met geesten (*esprits*) die zich daaruit ontwikkeld hadden.

263. Natuurlijk stonden zij hierbij allen voor de vraag, waarom het kwik, indien het door zijn zwaarte begonnen was te dalen, juist op die ene bepaalde hoogte die de proef aanwees, was blijven staan. Niemand, die bekend is met de onvervaardheid in het opstellen van verklaringshypothesen, waarin de Cartesiaanse physica met de scholastieke wedijverde, zal verwonderd zijn te vernemen, dat zij daarin allen voor hun eigen gevoel uitmuntend slaagden; zij bezaten allen in ruim voldoende mate het in de Scholastiek zozeer gewaardeerde vermogen, dat men *subtilitas* noemde en dat Pascal omschrijft als *cette puissance d'esprit ...qui pour solutions des difficultés véritables ne donne que des vaines paroles sans fondement*[119]. Wij zullen hen echter in de uitoefening van dit vermogen niet verder volgen.

Aanvaarding van het vacuum liet, zoals de tegenstelling tussen Pascal en Roberval bewijst, ook nog weer ruimte voor meningsverschil, waarom het kwik op een bepaalde hoogte blijft staan. Wie hier niet aan de werking van de *colonne d'air* geloofde, nam in den regel met Galilei aan, dat de natuur weliswaar een afschuw van het ledig heeft, maar dat deze niet onoverwinlijk is. Om het vacuum te vermijden tolereert de natuur, dat in de buis een kwikkolom tegen de werking van de zwaarte in blijft staan; wordt die kwikkolom echter te lang, dan kan zij er de voorkeur aan geven, toch maar liever het vacuum toe te staan. De hoogte van de kwikkolom is dus een maat voor de intensiteit van den horror vacui.

264. Wij hebben met opzet enigszins uitvoerig de veelheid van hypothesen geschetst waartoe de barometerproef in de zeventiende eeuw aanleiding heeft gegeven, omdat men zich nauwelijks een duidelijker beeld kan vormen van de verheldering in het denken die de vernieuwing der natuurwetenschap teweeg heeft gebracht en incidenteel ook van het belangrijke aandeel dat Pascal daarin gehad heeft, dan wanneer men de redelijke orde van de theorie die hij ten slotte ingang heeft doen vinden, plaatst tegenover den chaos van meningen die vóór hem om den voorrang streden. Hij is begonnen met door een reeks van weloverwogen en rijk gevarieerde proeven de verklaring van het barometrisch verschijnsel met behulp van den luchtdruk boven allen twijfel te verheffen; hij heeft vervolgens in den invloed dien de dampkringslucht door haar gewicht uitoefent, een bijzonder geval leren zien van de algemene wet die ook de hydrostatica beheerst, en hij heeft ten slotte door zijn theoretische beschouwingen over de toegepaste redeneringen een belangrijke bijdrage geleverd tot de verheldering van het inzicht in de methode der empirische natuurwetenschap.

265. Het experimentele werk dat voor de uitvoering van het eerste ge-

deelte van dit onderzoek nodig was, is grotendeels nog verricht tijdens Pascal's verblijf te Rouen[120]. De glasblazerij aldaar was de enige, die de zeer omvangrijke glazen toestellen kon leveren, die hij nodig had om de proef van Torricelli op allerlei wijzen te variëren; zoals nog zo menigmaal in de latere geschiedenis der physica het geval is geweest, bleek ook hier de vooruitgang van het experimentele onderzoek in hoge mate afhankelijk te zijn van het peil waarop de glasblazerskunst stond.

Bij een deel van de uitgevoerde proeven had Pascal zich tot taak gesteld, de onjuistheid aan te tonen van de hypothese, dat er in de buis een kleine hoeveelheid lucht zou zijn achtergebleven. De aanhangers van deze verklaring moesten namelijk, om duidelijk te maken, dat het kwik niet nog verder daalde, aannemen, dat de aanwezige lucht haar maximalen verdunningsgraad bereikt had. Als deze verklaring juist was, zou dus het volume van de lege ruimte constant moeten zijn. Door de proef te doen met buizen van verschillende lengte en verschillenden vorm kon Pascal gemakkelijk aantonen, dat niet het volume van het vacuum, maar wel de lengte van de kwikzuil onveranderlijk was.

Andere proeven dienden ter weerlegging van de verklaring die de daling van het kwik toeschreef aan de ontwikkeling van dampen. Pascal liet hierbij buizen van 46 voet lengte, die aan beweegbare scheepsmasten waren vastgemaakt, opvolgend met water en met roden wijn vullen en daarna omkeren in vaten, waarin dezelfde vloeistof stond. Van te voren had hij aan de toeschouwers, die ten getale van vijfhonderd aanwezig waren, gevraagd te voorspellen, welke van de twee vloeistoffen het hoogst in de buis zou blijven staan. Men meende, dat dit het water zou zijn; wijn leek immers vluchtiger en zou dus meer *esprits* ontwikkelen. Bij uitvoering van de proef bleek echter de wijn juist hoger te staan dan het water. Pascal had dit voorzien omdat hij begrepen had, dat het in de eerste plaats op het soortelijk gewicht van de gebruikte barometervloeistof aankwam en dat dus van het soortelijk zwaardere water een kortere kolom werd vereist om evenwicht te maken met den luchtdruk dan van den soortelijk lichteren wijn. Natuurlijk is de physische situatie bij deze proefneming niet zo eenvoudig als Pascal meende; de ruimte boven de vloeistof is in feite geen vacuum, al is men haar ook steeds als vacuum van Torricelli blijven betitelen; ze is gevuld met verzadigden damp, die uit de vloeistof is opgestegen en wanneer er dus onder de toeschouwers iemand geweest was, die de *colonne d'air* had aangenomen, maar daarbij had volgehouden, dat het beweerde vacuum met damp gevuld was, zou hij het meer bij het rechte eind hebben gehad dan Pascal zelf, die na enige aarzeling als zijn overtuiging uitsprak, dat er boven de vloeistof een absoluut vacuum was ontstaan. Het blijkt echter niet, dat de bedoelde combinatie van meningen werkelijk is voorgekomen; de aanhangers van de hypothese der dampvulling beschouwden de aanwezigheid van den damp als de oorzaak van het dalen der vloeistof inplaats van als een gevolg daarvan

en ze onthulden zelf de zwakte van hun standpunt door het antwoord dat ze op de gestelde vraag gaven. Een juiste waardering van den invloed dien de ontwikkelde damp op het barometrisch verschijnsel heeft, viel overigens geheel buiten den gezichtskring der toenmalige physica, daar het begrip van de spanning van een gas in zijn algemeenheid nog niet was ingevoerd.

Van de verdere door Pascal beschreven proeven vermelden we nog die met een hevel waarvan de buizen opv. 45 en 50 voet lang waren. Toen de stoppen, die de met water gevulde buizen afsloten, werden weggenomen bleek de hevel in verticalen stand niet te werken; het water daalde in de beide benen tot ca 32 voet boven het niveau in den bak. De hevelwerking bleek eerst op te treden, wanneer de stoppen pas weg werden weggenomen, nadat het toestel in een voldoend hellenden stand was geplaatst. Grote aandacht trok ook de door Pascal geconstrueerde *syringe* (= *seringue*), een glazen buis met een nauwe opening aan een zijde, waarin zich een luchtdicht sluitende zuiger kon bewegen en waarmee men een vacuum kon teweegbrengen door den aanvankelijk naar beneden gestoten zuiger uit te trekken, terwijl de opening met den vinger was afgesloten. Pascal blijkt veel waarde te hebben gehecht aan de waarneming, dat de buis niet van gewicht verandert, wanneer men, door den zuiger verder uit te trekken, het vacuum vergroot; hij ziet hierin een bewijs, dat in de afgesloten ruimte geen weegbare materie is binnengetreden.

266. Wanneer men de consequenties leest die Pascal in zijn in 1647 verschenen *Experiences nouvelles touchant le vuide* aan de reeks der proeven waarvan we hier enkele beschreven hebben, verbindt, kan het bevreemden, dat hij, hoewel toch reeds lang op de hoogte van het bestaan en de werking van de colonne d'air, een theorie van het barometrisch verschijnsel ontwikkelt, waarin van het begrip van den (beperkten) horror vacui gebruik wordt gemaakt. Bij nadere beschouwing blijkt het standpunt waarop hij zich stelt, echter volkomen in overeenstemming te zijn met de zeer voorzichtige, streng empirische houding die hij steeds tegenover de natuurverschijnselen en de ter verklaring daarvan opgestelde hypothesen heeft aangenomen. Hij is er zich namelijk ten volle van bewust, dat de uitgevoerde proeven weliswaar met behulp van den luchtdruk kunnen worden verklaard, maar dat er nog geen bewijs geleverd is, dat de waargenomen verschijnselen ook inderdaad door den luchtdruk veroorzaakt worden. Hij acht zich daarom niet gerechtigd, reeds van de gangbare theorie af te wijken, maar streeft er naar, haar zo te formuleren, dat zij met de experimenteel vastgestelde feiten strookt. Wanneer hij namelijk aan het slot van zijn verhandeling[121] als eerste van een reeks van zeven maximes de bewering uitspreekt: *Que tous les corps ont repugnance à se separer l'un de l'autre, et admettre du vuide dans leur intervalle*; *c'est à dire que la Nature abhorre le vuide*, schijnt hij zich nog geheel naar de traditionele opvatting te schikken. Wanneer hij daarna echter als tweede

en derde maxime uitspreekt, dat de bedoelde horror onafhankelijk is van het volume van het verkregen vacuum, dat haar kracht beperkt is en dat deze gemeten kan worden door het gewicht van een waterkolom van ca 31 voet, blijkt de horror vacui bij hem, evenals bij Galilei (IV: 223) een experimenteel meetbare grootheid te zijn geworden, die er zich wel toe leent, het resultaat van de barometerproef te karakteriseren. De animistisch aandoende uitdrukking horror vacui is nu eenvoudig een ietwat anthropomorf klinkende metaphoor geworden.

267. Reeds dadelijk na het verschijnen van de *Experiences nouvelles* vond Pascal aanleiding om de denkbeelden over de methode der natuurwetenschap die hem dit standpunt deden innemen, uiteen te zetten. De conclusies die hij aan het eind van het werkje had geformuleerd, hadden een schrijven uitgelokt van den boven reeds vermelden pater Noël[122], waarin deze op verschillende, aan Aristoteles ontleende physische gronden (voortplanting van licht vereist de aanwezigheid van een stoffelijk medium; beweging zonder weerstand zou instantaan zijn) ontkende, dat de boven het kwik vrijgekomen ruimte werkelijk leeg zou zijn; volgens zijn eigen boven reeds besproken onderstelling zou er, wanneer het kwik tot stilstand is gekomen, evenwicht zijn tussen de kracht waarmee de omringende dampkringslucht het haar ontroofde bestanddeel weer door den glaswand heen naar zich toetrekt en die waarmee de kwikzuil die in de buis hangt, de zuivere lucht in het vermeende vacuum omlaag trekt, hij herhaalt verder in wezen het betoog van den Stagiriet, dat een lege ruimte een contradictio in adjecto zou zijn: iedere ruimte toch is tevens een lichaam, dat weer uit delen bestaat en men kan dus niet spreken van een ruimte die geen lichamen zou bevatten.

268. Het antwoord dat Pascal op dezen brief geeft[123], een voortreffelijk gecomponeerd stuk, waarvan de hoffelijke toon een fijne ironie niet uitsluit, ontleent een bijzondere betekenis aan de omstandigheid dat het betoog zich weliswaar in naam tegen Noël zelf richt, maar over zijn hoofd heen de fundamentele beginselen van de natuurwetenschap van Descartes aantast, die Noël met de gronddenkbeelden van de peripatetische physica had trachten te verenigen.

Pascal begint met als algemenen regel op te stellen, dat in de wetenschap geen bewering als juist mag worden erkend, die niet òf uit zich zelf zo duidelijk is voor de zinnen of het verstand, dat er geen enkele aanleiding bestaat, haar in twijfel te trekken, òf een logische gevolgtrekking is uit een of meer van dergelijke principes of axiomata. Iedere uitspraak die niet tot een dezer twee categorieën behoort, moet als twijfelachtig en onzeker worden beschouwd; wij noemen haar, al naar haar waarde, nu eens *vision*, dan weer *caprice*, ook wel eens *fantaisie*, soms *idée*, op zijn best *belle pensée*; daar we haar niet zonder vermetelheid bevestigend kunnen poneren, moeten we eer geneigd zijn haar te ontkennen, waarbij we echter voortdurend bereid moeten zijn om tot bevestiging over te gaan,

wanneer een evident bewijs de waarheid ervan aantoont. Van dezen regel zijn uiteraard de geloofswaarheden, die de H. Geest zelf geopenbaard heeft, uitgezonderd; voor deze behoren we onderwerping des geestes te betrachten, die het ons mogelijk maakt te geloven in mysteriën die voor zinnen en rede verborgen zijn.

Dit beginsel toepassend op de argumenten die Noël tegen de mogelijkheid van een vacuum had aangevoerd, betoogt Pascal nu, dat men het eerst eens moet zijn over de betekenis van de termen lege ruimte, licht en beweging, voordat men kan beweren, dat de oordelen: 'het licht gaat door een lege ruimte heen' en 'een lichaam heeft tijd nodig, om zich in een lege ruimte te bewegen' contradicties bevatten. Zolang we echter van het wezen van licht en beweging in het geheel niets weten, zal het onmogelijk zijn, de bewering waar te maken.

Ook de door Noël opgestelde hypothese over de samenstelling van de dampkringslucht is tegen Pascals strenge kritiek uiteraard allerminst bestand:

> Si cette façon de prouver est receuë, il ne sera plus difficile de resoudre les plus grandes difficultez. Et le flux de la mer et l'attraction de l'aymant deviendront aysez à comprendre, si'l est permis de faire des matieres et des qualitez exprez. Car toutes les choses de cette nature, dont l'existence ne se manifeste à aucune des sens, sont aussy difficiles à croire qu'elles sont faciles à inventer.[124]

De toespeling op Descartes is onmiskenbaar; immers het zijn juist de twee genoemde verschijnselen, die hij in de *Principia Philosophiae* door een opstapeling van hypothesen had verklaard en niemand anders ontwikkelde zoveel virtuositeit in het verzinnen van verborgen mechanismen ter verklaring van de natuurverschijnselen.

269. Pascal breidt hierna de speciale op Noël's beschouwingen uitgeoefende kritiek uit tot een algemene theorie van de functie der hypothese in de natuurwetenschap. Er zijn drie mogelijkheden: 1) men kan uit de ontkenning van de gemaakte onderstelling een ongerijmdheid afleiden; dan is de waarheid van de onderstelling zelf aangetoond; 2) haar bevestiging voert tot een ongerijmdheid; dan is ze zeker onjuist; 3) zolang noch het ene noch het andere het geval is, blijft de hypothese twijfelachtig. Men moet dus vooral niet menen, dat een hypothese gerechtvaardigd is, wanneer alle verschijnselen naar aanleiding waarvan ze is opgesteld, er ook uit kunnen worden afgeleid.

Opnieuw is het duidelijk, dat het betoog meer dan tegen Noël tegen Descartes gericht is. Volgens de theorie, die deze in de *Principia Philosophiae* ontwikkeld had, is het weliswaar geen volstrekt bewijs van de waarheid ener hypothese wanneer alle bekende verschijnselen er door kunnen worden verklaard, maar in de practijk van zijn werk als physicus komt het toch gewoonlijk daarop neer, dat hij zijn taak vervuld acht, wanneer hij in de verklaring geslaagd is.

270. Door de boven weergegeven onderscheiding zal het tevens begrijpelijk worden, waarom Pascal een zo uitermate gereserveerd standpunt heeft ingenomen, tegenover het stelsel van Copernicus. In een van zijn meest beroemde Pensées laat hij de zon om de aarde draaien[125]; elders[126] raadt hij aan *qu'on n'approfondisse pas l'opinion de Copernic*. Blijkbaar strookt deze houding geheel met zijn algemeen gezichtspunt: de zogenaamde bewijzen die Galilei voor het stelsel van Copernicus had aangevoerd, waren weliswaar voor hemzelf subjectief volkomen overtuigend geweest, maar ze voldeden geenszins aan de wel zeer strenge eisen die Pascal aan een wetenschappelijk bewijs stelde; in zijn oog zijn de theorieën van Ptolemaios, Tycho en Copernicus, die immers alle drie de verschijnselen der planetenbeweging kunnen verklaren, geheel gelijkwaardige *opinions, fantaisies* of *caprices* en hij zal wel niets in te brengen hebben gehad tegen de skeptische conclusie van Roberval, dat ze misschien wel geen van drieën juist zijn[127]. Er bestaat dan ook niet de minste reden voor de aan verontwaardiging grenzende bevreemding, waarmee sommige biographen van Pascal zijn reserve ten aanzien van het stelsel van Copernicus als een betreurenswaardige afdwaling voorstellen[128].

271. Zich nu speciaal tot Noël richtend - want het betreft nu een punt waarop deze niet met Descartes overeenstemt - verwerpt Pascal met grote beslistheid het beroep op de autoriteit van gezaghebbende schrijvers uit het verleden, waarvan men in scholastieke disputen altijd een zo overvloedig gebruik gemaakt had en in zijn tijd nog maakte:

> sur les subjects de cette matiere, nous ne faisons aucun fondement sur les autoritez: quand nous citons les autheurs, nous citons leurs demonstrations, et non pas leurs noms.

Beroep op autoriteit heeft alleen reden van bestaan, wanneer het om de vaststelling van historische feiten gaat; in de theologie vormt het gezag der schrijvers die ons profetieën en wonderen hebben overgeleverd, zelfs een essentieel argument; in de physica zijn echter ervaring en rede de enige kenbronnen[129].

Pascal heeft steeds met de uiterste consequentie aan deze opvatting, die een der meest wezenlijke kenmerken vormt van de vernieuwing die de natuurwetenschap bezig was te ondergaan, vastgehouden. Het is echter opmerkelijk, dat hij zijn bereidwilligheid om op autoriteit te vertrouwen, ook uitstrekt tot het geval, dat historische feiten waarvan aanvaarding op gezag verlangd wordt, bestaan uit natuurkundige waarnemingen:

> si bien que si les autheurs que vous alleguez disoient qu'ils ont veu ces petits corps ignez, meslez parmy l'air, je desfererois assez à leur sincerite et à leur fidelite, pour croire qu'ils sont veritables, et je les croirois comme historiens.

In dit opzicht zal de natuurwetenschap, die in veel opzichten de strengheid van Pascal's eisen zal verzachten, veeleisender worden dan hij; uiteraard zal zij steeds gedwongen blijven, berichten over waarnemingen

van natuurverschijnselen die buiten menselijk toedoen verlopen. zij het dan ook met de nodige kritiek, als feiten te aanvaarden; voor de physische proefneming zal zij echter onbeperkte herhaalbaarheid als een der voornaamste eisen gaan stellen.

272. Aan het einde van zijn belangrijken brief maakt Pascal den pater nog duidelijk, waarin de fout bestaat van de redenering, waardoor hij had willen aantonen, dat het begrip lege ruimte logisch contradictoir is. Men kan ongetwijfeld een ruimtedeel een lichaam noemen, maar dat is dan wat men de wiskunde een *solide* noemt, een meetkundig lichaam. De kwestie waar het om gaat is echter, of zich boven het kwik in de buis van Torricelli een physisch lichaam bevindt. Het is duidelijk, dat dat iets geheel anders is. Het meetkundig lichaam is onbeweeglijk en in staat, een ander lichaam op te nemen, dat zijn dimensies doordringt; het physische is beweeglijk en staat zulk een penetratie niet toe. De lege ruimte houdt dus het midden tussen het niets (waarmee de peripatetici het hadden willen identificeren) en een meetkundig lichaam.

Alvorens thans over te gaan tot de gebruikelijke civilitez maakt Pascal nog bezwaar tegen een definitie van licht, die Noël in zijn brief had gegeven: *la lumière est un mouvement luminaire de rayons composez de corps lucides, c'est-à-dire lumineux*. Het kost hem natuurlijk niet de minste moeite de onhoudbaarheid van zulk een omschrijving aan te tonen. Vermoedelijk is hij den schrijver echter dankbaar geweest, dat hij hem een zo sprekend voorbeeld aan de hand had gedaan van een wetenschappelijk volkomen onbruikbare definitie. Tien jaar later haalt hij het in zijn belangrijke methodologische verhandeling *De l'esprit géométrique* nog eens aan als illustratie van de absurditeit *d'expliquer un mot par le mot même*[130].

273. Intussen vond Pascal zich op grond van zijn eigen beginselen nog steeds voor de taak gesteld, de hypothese, dat het barometrisch verschijnsel aan den luchtdruk toe te schrijven zou zijn, van den rang van *une opinion, une simple conjecture*, tot dien van een uitgemaakte waarheid te verheffen. Het was een taak, waarvan hij zich de vervulling niet licht heeft gemaakt.

Een eerste stap werd gedaan door de uitvoering van het befaamde experiment van *le vide dans le vide*, dat neerkwam op het doen van de proef van Torricelli in vacuo[131]. Daar men nog niet over luchtpompen beschikte, bestond de enige mogelijkheid hiertoe daarin, dat men een gevulden bakbarometer ophing in een voldoend wijde en lange buis, die met het door een membraan afgesloten ondereinde in een bak met kwik stond en die zelf geheel met kwik gevuld en daarna aan de bovenzijde afgesloten was. Verbrak men nu de membraan, dan kwam de bakbarometer in een vacuum van Torricelli te hangen; het bleek nu, dat het kwik in bak en buis even hoog kwam te staan. Daar het verschil met een in lucht uitgevoerde barometerproef hierin bestond, dat er nu geen lucht aanwezig was, die op het kwik in den bak een druk zou kunnen uitoefenen lag het voor de hand, de oorzaak van het niveauverschil in bak en buis

bij uitvoering in lucht aan den luchtdruk toe te schrijven. De gehele proef vormt een uitmuntend voorbeeld van wat men later in de theorie der inductie de methode der verschillen zou noemen. Pascal toonde bovendien aan, dat wanneer hij door het kwik in de wijde buis lucht liet opstijgen, het kwik in de buis van den opgehangen bakbarometer weer ging stijgen en wel des te meer, naarmate er meer lucht werd toegelaten. Deze toepassing van de methode der concomitante variatie versterkte de getrokken conclusie.

Het typeert de streng kritische houding, waarin Pascal tegenover zijn eigen gedachten stond, dat hij deze proef nog niet als een afdoend argument voor de theorie van den luchtdruk durfde beschouwen. Het is hem blijkbaar niet ontgaan, dat de leer van den beperkten horror vacui evengoed in staat was, het waargenomen verschijnsel te verklaren. Inderdaad: door het dalen van het kwik in de wijde buis is de horror vacui overwonnen en bedwongen; in de vrijgekomen ruimte kan de natuur niets meer tegen het optreden van een vacuum doen: het kwik in de buis van den opgehangen barometer kan dus vrijelijk dalen en de hele buis leeg laten worden. Stijgt er nu in de wijde buis lucht op, dan komt een deel van den horror als het ware vrij, omdat er geen volstrekt vacuum meer is en het vrijkomende gedeelte verkleint onmiddellijk het in de kleinere barometerbuis ontstane vacuum.

274. De volkomen zekerheid, die de proef van le vide dans le vide hem niet kon geven, zou naar Pascal's mening eerst kunnen worden verkregen, wanneer het gelukte om aan te tonen, dat de hoogte van de kwikkolom in de buis des te kleiner wordt, naarmate de barometerproef op grotere hoogte boven het aardoppervlak wordt uitgevoerd. Wanneer blijken zou, dat naarmate er een kleinere luchtkolom boven het kwik in den bak staat, ook een kleinere kwikkolom in de buis op kon worden gehouden, zou daarmede volgens zijn overtuiging onweerlegbaar bewezen zijn, dat het niveauverschil in bak en buis toe te schrijven is aan den druk, dien de dampkringslucht uitoefent. Hiermee was het beginsel uitgesproken van het befaamde bergexperiment, dat Pascal's bekendste bijdrage tot de nieuwe natuurwetenschap zou worden.

Het denkbeeld lag in die dagen in de lucht. Mersenne had het al meer dan eens uitgesproken, en zelfs zijn vriend Le Tenneur verzocht, de proef op den Puy de Dôme uit te voeren[132]. Descartes beschouwde het zelfs als zijn geestelijk eigendom en toonde zich gefroisseerd, toen Pascal later niet geneigd bleek, hem de eer ervan te gunnen, terwijl hij toch in de mening verkeerde, dat hij hem er attent op had gemaakt[133].

Het was echter niettemin helemaal niet overbodig, de proef ook werkelijk uit te voeren: allen die met Roberval tegen de *colonne d'air* waren, hechtten niet de minste waarde aan de gedachte, dat de proef van Torricelli op een berg wel eens een ander resultaat zou kunnen opleveren dan op den beganen grond.

275. Wij zullen niet ingaan op de uiterst zorgvuldige wijze, waarop Pascal's zwager Périer op 19 September 1648 het beroemde experiment van den Puy de Dôme heeft uitgevoerd. Het resultaat, een duidelijke daling van de kwikhoogte in de barometerbuis, is bekend en voor Pascal's denken heeft het de betekenis van den doorslaggevenden factor bezeten die de theorie van de colonne d'air voor goed boven twijfel verhief. In zijn reeds in October 1648 verschenen *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs* spreekt hij als definitieve stelling uit:

> Que la Nature n'a aucune repugnance pour le Vuide; qu'elle ne fait aucun effort pour l'eviter; que tous les effets qu'on a attribuez à cette horreur procedent de la pesanteur et pression de l'air; qu'elle en est la seule et veritable cause.[134]

Hij herhaalt echter, dat hij niet lichtvaardig van de traditionele opvatting is afgeweken en dat hij alleen onder den dwang van de evidentie der proefneming den weg heeft afgelegd, die hem van den absoluten horror vacui tot den beperkten en vandaar tot de colonne d'air geleid heeft.

Het blijkt dus, dat hij aan de proef op den Puy de Dôme den rang van *experimentum crucis* heeft toegekend, dien *le vide dans le vide* in zijn oog nog niet bezat. Voor dit verschil in waardering bestaan kennelijk geen andere dan subjectieve gronden. Wanneer men namelijk, zoals boven reeds geschiedde, de theorie van den horror vacui in dier voege interpreteert, dat de natuur een afschuw heeft van luchtverdunning, welke *horror rarefactionis* monotoon stijgend tot een eindige limiet nadert, wanneer de verdunning nadert tot een vacuum, kan men van de proef op den berg rekenschap geven door op te merken, dat naarmate men hoger stijgt, een groter deel van den horror in beslag wordt genomen door de toenemende ijlheid van de atmospheer, zodat er een kleiner deel overblijft om het ontstaan van een vacuum in de buis te beletten; het is dus begrijpelijk, dat het kwik in de buis moet dalen.

276. Deze opmerking bedoelt geen poging om de theorie van den horror vacui weer tot haar oude eer te verheffen; het gaat er slechts om, of de conclusies waartoe Pascal kwam, van zijn eigen standpunt uit beschouwd, logisch volkomen verantwoord zijn. Dat zijn ze kennelijk niet, vooral niet wanneer men ze confronteert met de kentheoretische beginselen die hij in den brief aan Noël had geformuleerd. Een hypothese, heette het daar, kan slechts aanspraak maken op den rang van waarheid, wanneer men uit haar ontkenning een logische contradictie kan afleiden en het is voor haar rechtvaardiging niet voldoende, wanneer men er de waargenomen verschijnselen door kan verklaren; ze mag slechts met zekerheid verworpen worden, als ze zelf tot een absurde conclusie aanleiding geeft. Het zal duidelijk zijn, dat wanneer men met deze beginselen ernst maakt, de luchtdruktheorie evenmin als bewezen mag worden beschouwd als de leer van den horror vacui in haar verwerping behoeft te berusten.

Maar men kan met die beginselen in de physica geen ernst maken; zij zijn door den wiskundige Pascal geformuleerd; zijn leven als natuurkundige blijkt echter sterker te zijn dan zijn mathematische leer; en als het op het trekken van natuurwetenschappelijke conclusies aankomt, beseft hij, dat de natuurwetenschap het mathematisch kennisideaal niet verdraagt.

277. Pascal heeft zijn natuurwetenschappelijke werkzaamheid in de periode 1651-1654 afgesloten door de samenstelling van zijn *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de l'air*, waarin hij de verschillende aërostatische verschijnselen onder één gezichtspunt brengt met de door Benedetti, Stevin, Galilei en Mersenne ontwikkelde leer van het evenwicht van vloeistoffen. Wat hij geeft is dus een statica van den fluiden toestand, waarbij het woord fluidum volgens het spraakgebruik van den tijd als een verzamelnaam van de vloeibare en de gasvormige phase moet worden verstaan. Hij laat nu zien, dat het gehele experimentele onderzoek der hydrostatische verschijnselen (communicerende vaten, hydrostatische paradox, hydraulische pers en opwaartse kracht op ondergedompelde lichamen) te samen met het nieuw ontgonnen terrein der luchtdrukverschijnselen kan worden begrepen door deductie uit het algemene beginsel van de gelijkmatige voortplanting van een op een fluidum uitgeoefende kracht, dat in de physica terecht zijn naam is blijven dragen. Bovendien brengt hij een der belangrijkste toepassingen van dit beginsel, namelijk de werking van de hydraulische pers, in verband met een in de mechanica reeds lang min of meer intuitief toegepast en door Descartes uitdrukkelijk geformuleerd principe, waarin wordt uitgesproken, dat alle winst aan kracht die een toestel kan opleveren, gecompenseerd wordt door een even sterke vergroting van de vereiste verplaatsing en met het ons reeds bekende axioma van Torricelli, dat den toestand van evenwicht van een stelsel lichamen karakteriseert door de minimale hoogte van het gemeenschappelijk zwaartepunt.

De beide boven vermelde *Traitez*, waarop Pascal's naam als physicus voornamelijk berust, zijn eerst na zijn dood gepubliceerd. De verzorgers van zijn litteraire nalatenschap zijn daartoe slechts schoorvoetend overgegaan. Zij waren van mening[135] - het is waarschijnlijk Florin Périer die het schrijft, maar zeker Port Royal die het denkt -:

> que le nom de Monsieur Pascal fait beaucoup plus d'honneur à ces ouvrages, que ces ouvrages n'en font au nom de Monsieur Pascal.

En zij voelen zich verplicht, de publicatie min of meer te verontschuldigen:

> Ce n'est pas que ces Traitez ne soient achevez en leur genre ny qu'il soit gueres possible d'y mieux reussir; mais c'est que ce genre mesme est tellement au dessous de luy, que ceux qui n'en jugeront que par ces escrits, ne se pourront former qu'une idee tres foible et tres imparfaite de la grandeur de son genie et de la qualite de son esprit.

De gehele beschouwing vormt een typerend symptoom van het volstrekt gemis aan inzicht in de betekenis van natuurwetenschappelijk werk dat men in de zeventiende eeuw (en nog lang daarna) bij vertegenwoordigers van de zogenaamde geesteswetenschappen kan aantreffen. Tegenwoordig rekenen we de *Traitez* onder de beste voortbrengselen van Pascal's schitterende intelligentie en bij alle waardering voor het vernuft dat in de *Lettres Provinciales* ten toon wordt gespreid kunnen we niet nalaten te bedenken, dat hij in de axiomatisering van de hydro- en aërostatica een belangrijker en duurzamer geestelijk bezit heeft nagelaten dan in zijn beschouwingen over de genade.

b. *Otto von Guericke*[136]

278. In denzelfden tijd waarin Pascal zich voor zijn experimentele onderzoekingen over luchtdruk en vacuum nog moest behelpen met de steeds betrekkelijk kleine lege ruimten die bij de proef van Torricelli optreden, was Otto Guericke te Magdeburg (later von Guericke) reeds bezig met de constructie van een werktuig, waardoor men in een gegeven vat een luchtledig kon teweegbrengen. Zijn luchtpomp vormt samen met telescoop, microscoop en slingeruurwerk het viertal grote technische vondsten waardoor de zeventiende eeuw in niet mindere mate dan door haar theoretische beschouwingen de natuurwetenschap tot nieuw leven heeft gebracht.

Het is hier niet de plaats op de technische zijde van zijn uitvinding in te gaan. Voor ons doel is de hoofdzaak, dat hij door talrijke proeven, die grotendeels al waren uitgevoerd, voordat hij de proef van Torricelli had leren kennen, zelfstandig tot de leer van den luchtdruk is gekomen en de theorie van den horror vacui heeft verworpen. Hij is overtuigd, dat de natuur wel degelijk een absoluut vacuum kent, namelijk de gehele interstellaire ruimte, en dat de vaten die hij met zijn toestel leeg heeft gepompt, zonder in denzelfden absoluten zin leeg te zijn, toch slechts een uiterst geringe hoeveelheid lucht bevatten. Uit de wijze, waarop hij hierover spreekt, is wel op te maken, dat hij zich deze op bepaalde plaatsen hier en daar in het vat aanwezig denkt. Van een kinetische gastheorie is namelijk in zijn tijd nog geen sprake en de gedachte, dat ook bij den hoogst bereikbaren graad van verdunning het vat in denzelfden zin van het woord geheel vol blijft als waarin het door de aanvankelijk aanwezige hoeveelheid lucht gevuld werd, ligt nog geheel buiten zijn gezichtskring.

c. *Robert Boyle*

279. De publicatie van Guericke's uitvinding in het in 1658 verschenen werk *Mechanica hydraulico-pneumatica* van den Jezuïet Caspar Schott was voor Boyle een prikkel ook een luchtpomp te construeren. Hij deed dit in samenwerking met Robert Hooke (IV: 193) en voerde in de komende

jaren een groot aantal proeven uit, waardoor hij de theorie van den luchtdruk bevestigde en de kennis van de verschijnselen in een vacuum uitbreidde.

Het werk *New Experiments Physico-Mechanical touching the Spring of the Air and its Effects*[137], waarin hij in 1660 deze proeven beschreef, handelt, zoals de titel uitdrukt, ook over wat men destijds algemeen de veerkracht van de lucht noemde (ἐλατήρ, *elastic power, spring*) en waarbij men speciaal het vermogen tot dilatatie op het oog had, dat zich bij het wegpompen van de omringende lucht bemerkbaar maakt.

Boyle begint zijn verhandeling met de bespreking van twee theorieën om van deze veerkracht rekenschap te geven. Volgens de eerste bestaat lucht uit een groot aantal veerkrachtige deeltjes, die zich door een uitwendige kracht tot een kleiner volume laten samendrukken, maar die het oorspronkelijke volume hernemen, wanneer de kracht ophoudt te werken. Hier wordt dus een eigenschap die de lucht als geheel bezit, verklaard door haar onveranderd toe te kennen aan de deeltjes die het geheel samenstellen, waardoor evenmin een verheldering van inzicht wordt verkregen als door er een qualiteit verantwoordelijk voor te stellen. De andere theorie is die van Descartes: de subtiele materie brengt door haar heftige beweging de deeltjes van de celeste materie die de aarde omringt, in snelle draaiing en deze stoten nu alles af, wat deze beweging dreigt te verhinderen of te belemmeren. Boyle ziet er echter van af, zich in de oorzaken van de veerkracht te verdiepen; hij beoogt niet meer dan haar bestaan aan te tonen en de verschijnselen, die ze teweeg brengt, te beschrijven.

280. In de *New Experiments* is nergens sprake van een poging tot quantitatieve behandeling van de veerkracht der lucht. Daartoe komt het eerst in een geschrift *A Defence of the Doctrine touching the Spring and Weight of the Air*[138], waarin Boyle reageert op de kritiek die door den Jezuïet Linus in een werk *De corporum inseparabilitate* (1662) op zijn proeven over luchtdruk was uitgeoefend. Linus had o.m. beweerd, dat het gewicht en de veerkracht van de lucht nooit groot genoeg konden zijn om een kwikzuil van ca 76 cm hoogte in de buis van Torricelli te dragen. Om deze bewering te weerleggen - men ziet er uit hoe bevorderlijk voor de ontwikkeling der natuurwetenschap de bestrijding van een prestatie zijn kan - heeft Boyle nu het toestel geconstrueerd, dat nog steeds bij het elementaire natuurkunde-onderwijs in gebruik is, de U-buis met een lang open en een kort gesloten been, waarin aanvankelijk lucht van de spanning van den dampkring boven kwik is afgesloten. Hij laat nu door bijschenken van het kwik in het lange been zien, dat de lucht in het korte been evenwicht kan maken met veel langere kwikkolommen dan in de proef van Torricelli.

Hij tekent hierbij aan, dat hij zelf niet op de gedachte was gekomen om na te gaan, of er ook een bepaalde betrekking bestaat tussen het volume van de in het korte been afgesloten lucht en den druk waaronder ze staat,

maar dat Richard Townley, die zich naar aanleiding van de *New Experiments* deze vraag gesteld had, het vermoeden had geuit, dat ze omgekeerd evenredig met elkaar zouden kunnen zijn. Hij heeft nu telkens uitgerekend, hoe groot in dat geval de som van het waargenomen hoogteverschil der kwikspiegels en den barometerstand zou moeten zijn en voelt zich bij vergelijking met de uit de waarneming afgeleide bedragen bevredigd door de mate van overeenstemming. Tevens is hem gebleken, dat andere physici intussen reeds dergelijke metingen hadden gedaan voor spanningen kleiner dan een atmospheer. Hij herhaalt ook deze en vindt weer het vermoeden van Townley bevestigd. In een van de beschreven proeven wordt vermeld, dat de spanning van de afgesloten lucht bij verhitting toeneemt. Dit verschijnsel wordt echter niet verder onderzocht, laat staan quantitatief bepaald. Men krijgt den indruk, dat Boyle aan de later naar hem genoemde gaswet niet de betekenis heeft gehecht die ze als eerste quantitatieve relatie op het gebied van de physica der gassen bezit.

281. Evenmin als bij Guericke is er bij Boyle sprake van een kinetische verklaring van de spanning van een gas, hoewel deze heel goed in zijn corpusculaire philosophie zou hebben gepast. Eerst Daniel Bernoulli zou haar in 1738 geven. Het is in dit verband van belang op te merken, dat de voorstelling die Boyle zich van een gas maakt, minder aanleiding geeft van de door een gas uitgeoefende spanning te spreken dan van de uitwendige samendrukkende krachten die het ondervindt.

282. Het strookt met Boyle's voorzichtige experimentele instelling ten aanzien van de natuurverschijnselen, dat hij er zich van onthoudt partij te kiezen in de vraag naar de mogelijkheid van een absoluut vacuum. Hij zegt uitdrukkelijk, dat hij met het vacuum dat hij in zijn proeven teweegbrengt, een ruimte bedoelt, die geen lucht bevat (een ledig om met Stevin te spreken) en wil dus blijkbaar in het midden laten, of er nu werkelijk helemaal niets in zit (dus of het, in Stevins terminologie, een ijdel is). Hij wil evenmin tot de vacuisten als tot de plenisten gerekend worden. Dat het licht ongehinderd door een luchtledige ruimte heengaat en de werking van een magneet er niet door wordt belemmerd, maakt het moeilijk met de eersten te geloven, dat er nu een ijdel tot stand is gebracht, maar aan den anderen kant is er ook geen experimenteel bewijs geleverd, dat een leeggepompt vat gevuld is met een subtiele of aetherische materie.

Dit laatste wordt natuurlijk wel aangenomen door alle physici uit de zeventiende eeuw en daarna die min of meer Cartesiaans denken. Voor orthodoxe volgelingen van Descartes is een ijdel een contradictie, omdat immers materie en ruimte voor hen identiek zijn. Maar ook voor hen die meer den geest dan de letter van zijn systeem aanhangen, blijft de gedachte van een absolute leegte onaanvaardbaar. Zij hadden de natuur weliswaar van den horror vacui bevrijd, maar deze had, als om zich te wreken, daarna bezit genomen van hun eigen geest. De talrijke aethertheorieën,

die zulk een belangrijke positie in de physica zouden gaan innemen, zijn er het sprekende bewijs van.

K. Het zeventiende-eeuwse mechanicisme op zijn hoogtepunt

283. De mechanistische natuurwetenschap van de zeventiende eeuw, waarin geen andere verklaringsprincipes worden aangenomen dan materie en beweging en geen andere wijze van wederzijdse beïnvloeding van materiële lichamen dan contactwerking, bereikt haar hoogtepunt in het werk van Christiaan Huygens. De Gassendistische en Cartesiaanse corpusculair-theorieën vinden bij hem haar meest consequente en veelzijdige toepassing, het door Boyle geformuleerde mechanistisch program zijn meest volledige verwerkelijking.

Huygens laat niet den minsten twijfel bestaan omtrent zijn opvatting van de ware methode der natuurwetenschap. Wij hoorden hem in het eerste hoofdstuk van het *Traité de la Lumière* reeds spreken over de ware philosophie, waarin men alle natuurverschijnselen door *des raisons de mechanique* verklaart (IV: 212).

Met Gassend en Descartes is hij van mening, dat in de stoffelijke natuur beweging slechts door beweging kan worden veroorzaakt en slechts weer beweging kan teweegbrengen, en ook dat materiedeeltjes onderling slechts kunnen verschillen in grootte, gedaante en bewegingstoestand. Iedere gedachte aan qualiteiten of krachten, die in de materie zouden kunnen huizen, verwerpt hij met beslistheid; dat de oude atomisten aan de atomen zwaarte toekenden, verwijt hij hun als een inconsequentie; dat is niet langer *exposer les causes mais supposer des principes obscurs et non entendus*[139]. De zwaarte vereist evenzeer mechanistische verklaring als geluid, warmte, licht, magnetisme en electriciteit en hij beschouwt het als zijn taak, deze te geven.

De sterkste inspiratie bij de uitvoering van zijn omvangrijke taak ontleent hij ongetwijfeld aan Descartes, aan wien hij bij alle kritiek op den concreten inhoud van zijn theorieën, de eer, het eerst op de noodzaak van de mechanistische verklaringswijze der natuurverschijnselen gewezen te hebben, volmondig gunt. Hij wijkt weliswaar principieel van hem af door de atomen zich te laten bewegen in vacuo en door hun absolute hardheid als zelfstandige eigenschap te postuleren, maar hij blijft consequent de door hem ingevoerde methode volgen, om als voornaamste verklaringsmiddel een aantal verschillende materiesoorten te gebruiken, die zich van elkaar door de orde van grootte van hun deeltjes en van de snelheden daarvan onderscheiden. De eisen die hij aan een verklaring stelt, beletten hem echter, met de Cartesiaanse indeling in drieën genoegen te nemen; hij acht het waarschijnlijk, dat de Natuur zich, om haar wonderbaarlijke effecten te bereiken, bedient van een oneindige reeks materiesoorten

waarvan de deeltjes telkens geringeren omvang en grotere snelheid hebben dan die van de voorafgaande[140], en hoewel men dat oneindig veel wel niet letterlijk zal moeten opvatten, is het toch wel duidelijk, dat hij den rijkdom zo groot acht, dat er telkens als dat nodig blijkt, een nieuwe soort kan worden aangenomen. Het is het mechanistische pendant van de peripatetische gewoonte om ter verklaring van nieuwe verschijnselen telkens maar weer een nieuwe qualiteit in te voeren.

Wij zullen Huygens iets meer van nabij volgen op de twee terreinen, waarop hij zijn mechanistische hypothesen tot volledige theorieën heeft uitgewerkt. Dit is het geval met het licht en met de zwaarte.

a. *De lichttheorie van Huygens*

284. Aan de theorie van het licht is een van Huygens beroemdste werken, het *Traité de la Lumière*[141], gewijd. Hij kiest daarin partij in den eeuwen-ouden strijd, of licht een substantie of een accidens is, iets zelfstandigs bestaands of een toestand van iets anders, door het tot beweging van een fijn verdeelde materie, den aether, te verklaren. Hij stelt zich voor, dat de snel bewegende deeltjes van een lichtgevend lichaam tegen de delen van dezen aether botsen en dat deze stootwerking zich bolvormig om de lichtbron als centrum uitbreidt. Naar analogie van de cirkelvormige uitbreiding van de evenwichtsverstoring op een wateroppervlak waarin men een steen heeft geworpen, spreekt hij bij het licht van spherische golven. Voor de snelheid waarmee de stoot zich voortplant, aanvaardt hij de waarde die Rømer op grond van waarnemingen over de verduisteringen van de manen van Jupiter had gevonden.

Het mechanisme van de uitbreiding der stootwerking wordt nader verduidelijkt met behulp van het beginsel, dat als principe van Huygens burgerrecht in de optica heeft verkregen. Het bestaat hierin dat ieder aetherdeeltje dat door een stoot getroffen wordt,

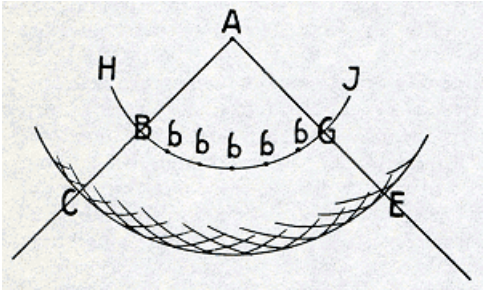


Fig. 44. Lichtuitbreiding uit het centrum *A* volgens de theorie van Huygens, *Traité de la Lumière* (*Oeuvres* XIX 475).

zelf als het ware een kleine lichtbron wordt, doordat het dien stoot in alle richtingen doorgeeft. Dit wordt mogelijk gemaakt door de volkomen hardheid en volmaakte veerkrachtigheid van de aetherdeeltjes; natuurlijk vereisen deze twee eigenschappen zelf ook weer een mechanistische verklaring, die gegeven zou

kunnen worden met behulp van een onderstelde nog weer fijnere materie; hij gaat hierop echter niet in en volstaat dus met hun aanwezigheid te postuleren. Uit de mikrogolven die de afzonderlijke aetherdeeltjes uitzenden, wordt nu de golf, die men in het groot waarneemt, samengesteld. Is dus (Fig. 44) *A* een puntvormige lichtbron en *BG* een opening in een overigens donker scherm *HI*, dan zullen de bolvormige golven die zich om de punten *b* als centra uitbreiden, aanleiding geven tot een omhullend golffront *CE* met centrum *A*. Weliswaar zullen de elementaire golven zich ook wel buiten de lijnen *ABC* en *AGE* uitstrekken, maar de evenwichtsverstoringen zijn daar te zwak om licht te kunnen veroorzaken. Huygens houdt dus geen rekening met Grimaldi's ontdekking van de buiging van het licht, die in 1666 in een posthuum werk *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride* was gepubliceerd.

Op grond van de gemaakte onderstellingen is het nu duidelijk geworden, hoe het licht van de lichtbron naar het oog komt, terwijl ook begrepen kan worden, dat verschillende lichtbronnen door elkaar heen kunnen stralen zonder elkander te storen. De aetherdeeltjes kunnen namelijk gelijktijdig verschillende stoten doorgeven. Huygens licht dit nader toe met behulp van een aantal onderling gelijke volkomen veerkrachtige bollen *B* (Fig. 45), waartegen van links en van rechts gelijktijdig dergelijke bollen *A* en *C* met gelijke snelheden botsen. Deze worden nu

Fig. 45. Verklaring van de mogelijkheid van gelijktijdige lichtvoortplanting in verschillende richtingen volgens de theorie van Huygens, *Traité de la Lumière* (*Oeuvres* XIX 474).

beide met de oorspronkelijke snelheid teruggeworpen. Door de bollen *B* hebben zich dus gelijktijdig stoten in twee tegengestelde richtingen voortgeplant. Volgens de theorie van Descartes waarin licht beschouwd wordt als een gestadig uitgeoefende druk, die slechts een aandrang tot beweging is, zou het niet mogelijk zijn dat twee waarnemers elkaar zien of dat twee lichtbronnen elkaar verlichten.

285. Hierna worden op de wijze die nog steeds in de leerboeken der natuurkunde wordt gevolgd, de wetten voor de terugkaatsing van licht op gladde oppervlakken afgeleid. De behandeling van de breking vereist echter een voorafgaande verklaring van de doorzichtigheid van een medium. Huygens onderscheidt hier drie mogelijkheden voor de voortplanting van de lichtstoten: zij kunnen worden overgebracht door het medium zelf, door de aetherdeeltjes die hun tussenruimten vullen, of door beide tegelijk. Voor de gewone breking kiest hij de tweede mogelijkheid. Daartoe toont hij eerst aan, dat het totale volume der tussenruimten veel groter is dan dat van de eigen deeltjes van het medium. Daar namelijk

kwik soortelijk ongeveer veertien maal zo zwaar is als water, kan de eigen materie van het water zeker nog niet het veertiende deel van het totale volume innemen. In werkelijkheid is de verhouding nog veel geringer, omdat goud soortelijk nog weer zwaarder is dan kwik en zelf nog allerminst geheel dicht kan zijn: het laat namelijk, zoals nog blijken zal, fijnere materies dan de aether nog door. De redenering bewijst, dat Huygens slechts een enkele grove materie kent, waarvan de hoeveelheid de massa van een lichaam bepaalt.

Plant het licht zich nu door een doorzichtig medium voort, dan wordt door de aanwezigheid der ponderabele materie, die het tot omwegen dwingt, de snelheid iets verkleind. Huygens neemt aan, dat de verhouding van de lichtsnelheden in lucht en in een medium gelijk is aan den brekings-index bij overgang van licht uit lucht in dat medium en hij kan nu op de eveneens nog steeds gebruikelijke wijze de brekingswetten afleiden.

286. Dit alles vormt echter nog slechts een inleiding op het voornaamste onderwerp dat in het *Traité de la Lumière* behandeld wordt en dat het pronkstuk van Huygens' mechanistische physica vormt, het verschijnsel namelijk van de dubbele breking in IJslands kristal, waarvan Erasmus Bartholinus in 1669 in zijn werk *Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici* de ontdekking bekend had gemaakt. Huygens geeft van dit verschijnsel een uitvoerige theorie, waarvan we hier niet meer zullen vermelden dan de grondgedachte waarop zij steunt. Deze bestaat hierin, dat naast de gewone voortplanting van het licht door den aether die de tussenruimten van de deeltjes van het kristal vult, nog een tweede wordt aangenomen, waartoe zowel de regelmatig gerangschikte kristaldeeltjes als de aetherdeeltjes medewerken. De eerste wijze van voortplanting geeft aanleiding tot de gebruikelijke spherische golven en daarmee tot het optreden van den z.g. gewonen gebroken straal; voor de andere, die tot den z.g. buitengewonen gebroken straal aanleiding geeft, is de voortplantings-snelheid afhankelijk van de richting; de golfoppervlakken krijgen de gedaante van wat Huygens in de terminologie van Archimedes sphaeroiden noemt, dus van omwentelingsellipsoiden. Met behulp van deze onderstellingen blijkt het verschijnsel, wat den loop der lichtstralen betreft, volkomen te kunnen worden verklaard.

287. Huygens heeft ook nog opgemerkt, dat wanneer men een der twee stralen die uit een enkelen invallenden straal ontstaan zijn, na het uittreden uit het kristal op een tweede soortgelijk kristal laat vallen, het gedrag van dezen straal afhangt van den stand, waarin de twee kristallen ten opzichte van elkaar staan, en concludeert hieruit, dat de lichtgolven door het passeren van het eerste kristal een zekeren vorm of dispositie hebben verworven (men merke op, dat zodra een nog onverklaard gedrag moet worden aangeduid, het woord vorm ook den meest mechanistischen van alle physici spontaan op de lippen komt), waardoor zij het weefsel van het tweede kristal in verschillende standen verschillend aandoen. Hij

heeft echter hiervoor geen verklaring kunnen vinden die hem bevredigde.

Dat behoeft niet te verwonderen. Het opgemerkte verschijnsel bestaat hierin, dat de twee stralen die het kristal uit een natuurlijken lichtstraal doet ontstaan, gepolariseerd zijn, d.w.z. dat de transversale trillingen die men later in de trillingstheorie van het licht zou aannemen, slechts in één enkele richting loodrecht op de voortplantingsrichting plaats hebben. Het begrip polarisatie hangt dus onverbrekelijk samen met de trillingstheorie van het licht. Huygens echter ontwikkelt een stoottheorie, waarin van begrippen als trilling, longitudinale en transversale golf, golflengte en frequentie geen sprake is. De stoten die de aetherdeeltjes ontvangen, vertonen ook in hun opvolging geen periodiciteit. Huygens zegt uitdrukkelijk, dat ze elkaar met ongelijke tussenpozen opvolgen[142].

Er heerst op dit punt bij schrijvers van leerboeken der natuurkunde een hardnekkig misverstand, dat alleen daardoor te verklaren is, dat zij over de lichttheorie van Huygens gaan schrijven zonder het *Traité de la Lumière* gelezen te hebben. Over trillingen wordt in dit werk nergens gesproken; zij treden eerst in de lichttheorie van Newton op (IV: 321).

Er is natuurlijk niets tegen om van de golftheorie van Huygens te spreken, mits men slechts onder golf algemeen de voortplanting van een evenwichtsverstoring en niet speciaal die van een trilling verstaat en in verband daarmee iedere gedachte aan periodiciteit verre houdt.

b. *De zwaartetheorie van Huygens*

288. De verklaring die Huygens van de zwaarte geeft[143], berust op het door Descartes ingevoerde denkbeeld van de centrifugale tendentie van een om de aarde wervelende fijne materie, die grovere materiedelen naar binnen drijft. Bij Descartes had de werveling echter plaats gevonden in vlakken loodrecht op de aardas en was zij in één enkelen zin verlopen; dat had het moeilijk gemaakt om te begrijpen, dat de vallende lichamen zich bewegen langs lijnen, die naar het middelpunt van de aarde inplaats van naar het middelpunt van een parallelcirkel gericht zijn. Huygens vervangt nu dezen cylindrischen wervel door een bolvormigen, d.w.z. hij stelt zich voor, dat de deeltjes van een subtiele of fluide materie in alle mogelijke richtingen om de aarde draaien.

Wanneer zich nu tussen deze zich snel bewegende fluide materiedelen grovere delen bevinden, die hun beweging niet kunnen volgen, zal de sterkere centrifugale tendentie van de eerste ze in de richting naar het aardmiddelpunt voortdrijven.

> C'est donc en cela que consiste vraisemblablement la pesanteur des corps: laquelle on peut dire, que c'est l'effort que fait la matiere subtile, qui tourne circulairement autour du centre de la Terre en tous sens, à s'éloigner de ce centre et à pousser en sa place les corps qui ne suivent pas ce mouvement.[144]

Daar de zwaarte van een lichaam ook nog aanwezig is, wanneer men het omgeeft met een dicht omhulsel, moet worden aangenomen, dat de fluide gravifieke materie alle lichamen doordringt, zodat deze blijkbaar alle nog tussenruimten tussen hun eigen delen bezitten.

Uit de boven gegeven formulering van de oorzaak van de zwaarte volgt, dat het gewicht van een lichaam gelijk is aan de centrifugale tendentie van een hoeveelheid gravifieke materie die hetzelfde volume heeft als de eigen materiedelen van het lichaam gezamenlijk. Het is daardoor mogelijk, de vereiste snelheid van de deeltjes der gravifieke materie aan het aardoppervlak te berekenen. De redenering van Huygens[145], in modern tekenschrift weergegeven, komt neer op de gelijkstelling

$$v^2/r = g$$

waarin v de snelheid van de deeltjes der gravifieke materie aangeeft, r den aardstraal en g de versnelling van den vrijen val. In verband met de eenheid der materie is namelijk de massa van het lichaam gelijk aan die van de gravifieke materie die de eigen delen ervan kan vervangen; de centrifugale tendentie hiervan wordt dus gegeven door het product van deze massa m en de versnelling v^2/r van een eenparige cirkelbeweging en daar het gewicht van het lichaam mg bedraagt, volgt de bovenstaande betrekking. Neemt men hierin bij benadering $r = 64.10^7$ cm en $g = 1000$ cm/sec^2. dan vindt men voor v de waarde van 8 km/sec.

289. Huygens licht zijn theorie met de volgende proef toe[146]. Op de draaitafel, die hij vaker voor het onderzoek van centrifugale verschijnselen gebruikt, wordt een cylindrisch vat geplaatst, waarvan de as met die van de tafel samenvalt. Het is gevuld met water en afgesloten door een glazen plaat. In het water zijn kleine stukjes zegellak gebracht, die soortelijk iets zwaarder zijn dan water. Wordt de tafel in draaiing gebracht, dan begeven deze stukjes zich naar den rand van het vat. Wanneer het water in het vat dezelfde hoeksnelheid heeft gekregen als de tafel, zet men de laatste stil. Nu is de situatie geschapen, waarmee die van de wervelingen om de aarde (op het verschil tussen cylindrische en sphaerische wervels na) vergeleken kan worden. En nu blijkt, dat de ingebrachte lakdeeltjes zich in het midden van het vat verzamelen; doordat ze op den bodem zijn komen te liggen, kunnen ze de snelle beweging van het water niet volgen; ze vallen naar de as, omdat het sneller ronddraaiende water ze door zijn centrifugale tendentie verdrijft. Daar het water de lakdeeltjes nog wel enigszins meesleept, bewegen deze zich nog spiraalsgewijs naar de as; wordt dat meedraaien echter door horizontaal gespannen draden belet, dan beweegt een ingesloten lakdeeltje zich radiaal naar de as toe.

290. Huygens acht de gegeven verklaring van de zwaarte in beginsel

de enige die in een mechanistische natuurwetenschap mogelijk is. ‘Je croys,’ zegt hij in de voorrede van het *Discours de la cause de la pesanteur*, waarin de boven weergegeven theorie ontwikkeld wordt:

> que si l'hypothese principale, sur la quelle je me fonde, n'est pas la veritable, il y a peu d'esperance qu'on la puisse rencontrer, en demeurant dans les limites de la vraye et saine Philosophie.[147]

Wij merkten boven reeds op, dat Huygens, waar hij dat voor de verklaring van een verschijnsel nodig heeft, een nieuwe materiesoort met een bepaalden fijnheidsgraad invoert. Zo is er een materie die de magnetische verschijnselen helpt verklaren, een voor de electrische, een om rekenschap te geven van het door hem ontdekte verschijnsel, dat een luchtvrije vloeistof op een veel grotere hoogte in een barometervuis kan blijven staan dan met den uitwendigen druk overeenkomt; het is echter niet steeds zeker of niet twee soorten achteraf geïdentificeerd worden[148]. En in het *Traité de la Lumière* wordt zelfs ter verklaring van het feit, dat er lichamen zijn die helemaal geen licht doorlaten (i.c. de metalen) aangenomen, dat er dan tussen de harde deeltjes zachte zitten, die de aetherstoten opvangen, maar niet doorgeven[149]. Echter zou dan die zachtheid weer verklaard moeten worden door de samenstelling uit nog kleinere deeltjes, die weer hard zouden moeten zijn. Het geheel toont overtuigend aan, tot welke moeilijkheden de zuiver mechanistische opvatting die geen andere qualiteiten erkent dan grootte, gedaante en beweging bij een dieper doordringen in de verschijnselen voert; waarbij dan nog te bedenken valt, dat Huygens, door hardheid als oorspronkelijke eigenschap te aanvaarden, reeds van het strenge standpunt was afgeweken.

L. Isaac Newton[150]

291. Voorzover de continuiteit in de ontwikkeling van het denken toestaat, van een afsluiting en een heropening te spreken, kan men zeggen, dat met Isaac Newton een oude periode in de betrekking van den denkenden mens tot de natuur haar einde en een nieuwe haar begin vindt. De klassieke natuurwetenschap, waarvan we in dit hoofdstuk het langdurig geboorteproces beschrijven, komt in zijn werk tot zelfstandig bestaan en begint van nu af haar invloed op de menselijke samenleving ten volle uit te oefenen. Wie de taak op zich zou nemen, dien invloed in zijn menigvuldige vertakkingen te beschrijven - een taak die ook eens vervuld zal moeten worden - zou zijn verhaal bij Newton kunnen beginnen en alles wat vóór hem gedaan is, als voorgeschiedenis in de schaduw kunnen laten.

Ons interesseert hij hier uitsluitend als voltooier. We willen laten zien, hoe in hem de verschillende ontwikkelingslijnen die we tot dusver ge-

scheiden vervolgden, samenlopen, hoe hij systeem brengt in de onordelijkheid van het spontaan gegroeide en verband leert leggen tussen wat zonder samenhang naast elkaar scheen te staan. We spreken daartoe vooreerst over de wijze, waarop hij de mechanica heeft geaxiomatiseerd tot het stelsel dat voortaan zijn naam zal dragen en over de toepassing die hij van dit stelsel heeft gemaakt bij de opstelling van een dynamica der hemelbewegingen.

a. *De axiomatisering der klassieke mechanica*

292. Het woord axiomatisering moet hier niet worden opgevat in den zin dien de moderne wiskunde er aan hecht, maar in de betekenis die het voor een zeventiende-eeuwsen wis- en natuurkundige had en die in beginsel nog dezelfde was als door Aristoteles was aangegeven (I: 49). Het gaat dus niet om de opstelling van een aantal niet-contradictoire uitspraken, die gezamenlijk de definitie vormen voor de daarin voorkomende termen en den grondslag voor af te leiden stellingen waarin die termen optreden, maar om het uitzoeken van een aantal evidente of althans aannemelijk te maken beweringen, die als uitgangspunten voor den opbouw van het vak kunnen dienen, voorafgegaan door een groep definities, waarin met behulp van termen die geacht kunnen worden, geen nadere toelichting te behoeven, de betekenis van de andere in de axiomata gebezigde woorden wordt bepaald.

Door dit werk te verrichten, neemt Newton in de geschiedenis der mechanica een positie in die te vergelijken is met de plaats van Pascal in die der hydrostatica. In beide vakken waren vóór hen reeds belangrijke resultaten bereikt, zo belangrijk zelfs, dat wie ze hoort opsommen welhaast den indruk moet krijgen, dat de grondslagen reeds voldoende bekend waren en men dus met de uitvoering van den bouw onbekommerd kon voortgaan. Bij nader toezien vertoont echter in beide gevallen de bijeengebrachte kennis nog een fragmentarisch en verward karakter en ontbreekt het aan het ene algemene beginsel, waaruit alle reeds bekende of nog te ontdekken stellingen als gevolgtrekking konden worden afgeleid. Wij zagen reeds, hoe Pascal op zijn gebied dat algemene beginsel, bestaande in het begrip van de alzijdige onverzwakte voortplanting van een druk, wist aan te geven en hoe hen daardoor de logische ordening van het gehele vak gelukte (IV: 261-277). Newton stond in de mechanica voor een soortgelijke, maar wegens de veel grotere algemeenheid van zijn onderwerp ook veel moeilijkere taak. Van oudsher had men zich immers bezig gehouden met beschouwingen over de bewegingen die stoffelijke lichamen door in- of uitwendige oorzaken uitvoeren en zich daarbij bediend van tal van termen die, omdat ze ook in de omgangstaal voorkwamen, wel heel duidelijk schenen, maar in werkelijkheid geen van alle met voldoende scherpte omschreven waren om in wetenschappelijke beschouwingen

zonder bezwaar en gevaar te kunnen worden gebruikt. Men had van zwaarte en lichtheid, van kracht, vermogen, snelheid en weerstand gesproken, van strevingen, van sym- en antipathie, van impetus, hoeveelheid beweging en massa, van de centrifugale kracht van een rondgeslingerd lichaam en van de kracht van een stoot, zonder dat ooit een van al deze begrippen behoorlijk was gedefinieerd. Men was, zonder ze uitdrukkelijk te formuleren, uitgegaan van zekere algemene, aan de dagelijkse ervaring ontleende en daardoor evident lijkende inzichten, die later stuk voor stuk onbruikbaar zouden blijken om er een exacte behandeling op te funderen. Langzamerhand was er toen wel twijfel gerezen aan de juistheid van de op deze denkbeelden berustende peripatetische dynamica; in het bijzonder was een nieuw traagheidsinzicht het oude komen vervangen. Maar terwijl dit gebeurde, waren andere voorstellingen van de antieke dynamica, met name de evenredigheid van kracht en snelheid, zich onverzwakt blijven handhaven, en was men steeds blijven verzuimen, de talrijke termen waarvan men zich bediende eens nauwkeurig te gaan omschrijven.

De hierdoor ontstane verwarring was in de zeventiende eeuw nog verergerd, doordat men onder invloed van de mechanistische beschouwingswijze van de natuur het woord kracht op een zeer speciale en van de oorspronkelijke afwijkende wijze was gaan gebruiken. Was kracht voorheen voornamelijk als oorzaak van een beweging beschouwd, zo werd ze thans als een gevolg daarvan gezien. De vis centrifuga van een rondgeslingerd lichaam is de kracht waarmee dit lichaam zich ten gevolge van zijn beweging van het centrum tracht te verwijderen. De zwaarte van een lichaam, hoewel enerzijds oorzaak van de valbeweging, is anderzijds gevolg van de bewegingen van een wervelende fluïde materie. Men strijdt er over, of de kracht van een bewegend lichaam, d.w.z. de werking die het door zijn beweging kan uitoefenen, met de eerste of met de tweede macht van de snelheid evenredig moet worden gesteld.

293. Het was nu Newton's taak in dezen chaos van termen en denkbeelden orde te scheppen. De beste methode die hij daarvoor had kunnen toepassen zou die van Herakles in den stal van Augeias geweest zijn: radicale verwerping van het oude, gevolgd door heropbouw van den grond af. In casu: een nieuwe fundering der mechanica met behulp van scherp gedefinieerde, bij voorkeur niet aan de omgangstaal ontleende en dus nog niet met misleidende associaties belaste termen. Maar aan dergelijke semantische idealen pleegt de wetenschap zich in haar werkelijke ontwikkeling niet te storen: ieder die haar tracht te vernieuwen, is opgegroeid in de gedachtenwereld die hij hervormen zal, denkt in haar begrippen, spreekt in haar termen. Daardoor gaat hij nooit radicaal genoeg te werk; hij houdt altijd een te groot deel van het overgeleverde begrippen-stelsel in stand, neemt altijd veel te veel als bekend en geen herziening behoevend over wat nu juist eens van den grond af exact zou moeten

worden opgebouwd en, belangrijkste bron van verwarring, hij blijft zich van de oude termen bedienen om nieuwe denkbeelden uit te drukken. Het gevolg is, dat hij nooit de helderheid van uiteenzetting bereikt die zijn epigonen, die in de nieuwe denkwijze worden opgevoed, op grond van didactische ervaringen op den duur wel weten te verwezenlijken.

294. De geschetste moeilijkheden hebben op Newtons poging tot axiomatisering der mechanica, die aan den eigenlijken inhoud van zijn werk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* voorafgaat, een onmiskenbaren invloed uitgeoefend. De *Elementen* van Euclides, het klassieke voorbeeld van een ordening volgens de Aristotelische beginselen, hebben er blijkbaar als model voor gediend, maar het blijft er ver vandaan, dat het logische peil waarop zij staan, bereikt zou worden. Daartoe heeft ongetwijfeld ook het karakter van Newtons wetenschappelijke persoonlijkheid meegewerkt; productieve genieën zijn in het algemeen niet het meest geneigd en het best geschikt om het geduldswerk te verrichten dat een axiomatisering met zich meebrengt en Newton was het zeer zeker niet. Hij bezigt een betoogtrant die met de behoeften van den lezer bitter weinig rekening houdt: zijn bewijzen worden meer geschetst dan geleverd en het ontbreekt niet zelden aan zorgvuldige begripsbepaling.

Het voornaamste bezwaar dat men tegen zijn axiomatisering kan inbrengen, bestaat wel hierin, dat in de definities de inhoud van de nog te formuleren axiomata reeds ten dele bekend ondersteld of uitgesproken wordt en dat zij anderzijds niet toereikend zijn om de axiomata te leren begrijpen. Men kan het gehele stelsel eigenlijk alleen in het licht van de latere ontwikkeling van het vak verstaan. Ook dan is het echter nog moeilijk, Newtons juiste bedoeling overal te achterhalen en er bestaat dan ook nog tot in onzen tijd meningsverschil over de betekenis van sommige van zijn uitspraken.

295. Van de drie *Axiomata* of *Leges Motus* (bewegingswetten) die Newton postuleert, geeft het eerste de definitieve formulering van het traagheidsinzicht dat we in den loop der zeventiende eeuw hebben zien groeien:

> AXIOMA I. *Ieder lichaam volhardt in zijn toestand van rust of eenparige rechtlijnige beweging behalve voorzover het door de werking van krachten gedwongen wordt, dien toestand te wijzigen*.

Wat we boven zeiden over het voorkomen van den inhoud van een axioma in een daaraan voorafgaande definitie vindt reeds dadelijk een illustratie in het feit, dat ditzelfde in Definitie III ook al gezegd is. Zij luidt namelijk als volgt:

> DEFINITIE III. *In de materie zetelt een kracht met het vermogen weerstand te bieden, ten gevolge waarvan ieder lichaam voorzover het van dit lichaam zelf afhangt, volhardt in zijn toestand van rust of eenparige rechtlijnige beweging*.

In de toelichting wordt deze kracht de *Vis Inertiae* (traagheidskracht)

genoemd, omdat ze slechts wat de wijze van opvatting betreft van de inertie van de massa verschilt.

Het blijkt dus, dat Newton nog niet de opvatting van traagheid huldigt die in de latere ontwikkeling der mechanica de heersende zal worden en die daarin bestaat, dat het voortduren van de eenparige rechtlijnige beweging van een aan alle uitwendige invloeden onttrokken stoffelijk punt geen oorzaak vereist: de beweging duurt voort, omdat er niets is dat haar doet ophouden. Newton deelt nog de Aristotelische opvatting, dat iedere beweging een motor vereist en wel in de modificatie van de Parijse Terministen, volgens welke die motor in het lichaam zetelt. De Vis Inertiae is blijkbaar niets anders dan de Parijse Impetus en de Vis Impressa van Galilei.

Hoezeer Newtons traagheidsbeschouwing in het verleden wortelt, blijkt ook hieruit, dat onder de voorbeelden die hij ter staving van het axioma aanhaalt, naast het geval van een aan zwaarte en luchtweerstand onttrokken projectiel, ook dat van een zonder weerstand rondwentelend wiel wordt genoemd, dat hier natuurlijk niet thuishoort. Dit voorbeeld was echter van oudsher aangehaald als argument tegen de Aristotelische bewering, dat bij een niet-natuurlijke beweging de lucht als motor fungeert en het heeft daardoor in belangrijke mate bijgedragen tot de ontwikkeling van het denkbeeld van een in een bewegend lichaam zetelend vermogen om in zijn bewegingstoestand te volharden.

296. Newton gebruikt in zijn toelichting het woord massa. Dit is een synoniem van *Quantitas Materiae*, welk begrip in Definitie I bepaald wordt als een maat (*mensura*) van de materie, verkregen als product van haar dichtheid en haar volume. Deze definitie is vaak gecritiseerd, omdat men er een cirkelredenering in meende te ontdekken. Deze zou er ook inderdaad in zitten, wanneer men dichtheid niet anders kon definiëren dan als quotiënt van de totale hoeveelheid materie en het volume. Dit kan echter wel. Volgens de atomistische opvatting is in ieder volumedeel van niet atomaire afmetingen van een lichaam een zeker breukdeel vol materie en de rest leeg. Dit voor een homogeen lichaam constante breukdeel is de dichtheid en de totale hoeveelheid materie wordt nu inderdaad verkregen als product van dit getal en het volume.

De latere ontwikkeling van de mechanica heeft de noodzaak getoond, in Newtons traagheidswet het woord lichaam door stoffelijk punt te vervangen. Wanneer namelijk een lichaam aan alle uitwendige invloeden is onttrokken, kan men wel zeggen, dat zijn zwaartepunt een eenparige rechtlijnige beweging bezit, maar over de bewegingen die het lichaam dan nog om het zwaartepunt kan uitvoeren, is daardoor nog niets vastgelegd.

297. Zoals we reeds eerder opmerkten (IV: 148), geeft de opstelling van de traagheidswet aanleiding tot de vraag, ten opzichte van welk assenstelsel de beweging van een aan uitwendige invloeden onttrokken stoffelijk punt eenparig en rechtlijnig is. Die vraag stelt de klassieke mechanica

voor een intrinsieke moeilijkheid waaruit zij zich slechts ten koste van geforceerde onderstellingen kan redden. Men heeft het trachten te doen door ergens de aanwezigheid van een niet waarneembaar onbeweeglijk lichaam, genaamd lichaam Alpha, te postuleren en daarop de inertiaalbeweging te betrekken[151]. Een andere methode bestaat hierin, dat men de boven gegeven formulering van de traagheidswet vervangt door een andere, waarin geëist wordt, dat er een assenstelsel bestaat, ten opzichte waarvan een aan uitwendige invloeden onttrokken stoffelijk punt een eenparige rechtlijnige beweging bezit. Is eenmaal het bestaan van één zulk een inertiaalstelsel gewaarborgd, dan zijn er vanzelf oneindig veel, omdat de beweging van het beschouwde punt dan ook eenparig en rechtlijnig is ten opzichte van ieder assenstelsel dat ten opzichte van het eerste een eenparige rechtlijnige translatie uitvoert. Bij toepassing van de axiomatisch gefundeerde abstracte mechanica op de physische ruimte blijft dan echter de moeilijkheid bestaan, dat men ten hoogste bij benadering een inertiaalstelsel werkelijk kan aanwijzen.

Al deze denkmoeilijkheden hebben Newton weinig bekommerd; hij gelooft namelijk in het bestaan van een absolute ruimte, die plaats biedt voor alle lichamen en ten opzichte waarvan de absolute beweging van een lichaam plaats heeft. De inertiaalbeweging van een stoffelijk punt is dus absoluut eenparig rechtlijnig. Het relativiteitsbeginsel der klassieke mechanica, dat hij in Corollarium V van de Axiomata zal formuleren, leert dan weliswaar, dat er oneindig veel inertiaalsystemen bestaan, maar dat geeft hem geen aanleiding deze als gelijkwaardig te beschouwen met de inertiaalstelsels die in absolute rust verkeren. Hij kan echter uiteraard geen middel aanwijzen om de eerste van de absolute inertiaalstelsels te onderscheiden. Voor een hedendaags neo-positivist, voor wien de zin van een bewering bestaat in de methode, langs empirischen weg haar juistheid of valsheid vast te stellen, zou dat een voldoende aanleiding zijn, die onderscheiding zinledig te noemen, zoals hij het gehele begrip absolute ruimte zinledig acht[152]. Van deze denkwijze is Newton echter nog onmetelijk ver verwijderd.

De erkenning van de onmogelijkheid, een absolute van een relatieve translatie te onderscheiden, sluit niet in, dat de onderscheiding van absolute en relatieve beweging voor andere bewegingstypen eveneens onvatbaar zou zijn voor empirische vaststelling. In het grote Scholium dat de Definitiones besluit, wordt namelijk betoogd, dat die mogelijkheid voor rotaties wel bestaat en dat het daartoe benodigde kriterium geleverd wordt door de centrifugale verschijnselen. Wanneer men b.v. een vat met water plotseling in snelle draaiing om zijn eigen as brengt, zal het water eerst geleidelijk aan die beweging deel gaan nemen en dus ook eerst na verloop van enigen tijd gaan terugwijken van de wentelingsas en opstaan tegen de wanden. Zolang het vloeistofoppervlak nog plat is, bestaat er wel relatieve draaiing ten opzichte van de wanden, maar blijkbaar nog geen

absolute rotatie; als echter de laatste is ingetreden, is de eerste juist verdwenen; zo blijken de centrifugale verschijnselen een kenmerk voor absolute rotatie te zijn. Wij volstaan met deze redenering mee te delen zonder in te gaan op de menigvuldige discussies waartoe zij bij de latere behandeling van het probleem van absolute en relatieve beweging aanleiding heeft gegeven.

298. Wij merkten boven reeds op, dat Newtons Vis Inertiae hetzelfde is als Galilei's Vis Impressa, die op haar beurt identiek is met den terministischen Impetus. Het is nu een bron van misverstand, dat Newton den term Vis Impressa ook gebruikt, maar in een gans anderen, etymologisch nauwelijks verantwoorden zin. In Definitie IV wordt namelijk gezegd:

> DEFINITIE IV. *Vis Impressa is een op een lichaam uitgeoefende werking tot wijziging van zijn toestand van rust of eenparige rechtlijnige beweging*.

Vis in corpus impressa beduidt nu dus: kracht die op een lichaam werkt. Door hetzelfde woord Vis voor twee zo uiteenlopende begrippen als Vis Inertiae en Vis Impressa te gebruiken, houdt Newton de verwarringen die het gebruik van het veelzinnige woord kracht van oudsher in het leven had geroepen, in stand.

Door de invoering van het begrip kracht in den zin van een niet nader bepaalde oorzaak van een verandering in den snelheidsvector van een stoffelijk punt (het woord vector is hier essentieel, omdat de verandering òf de grootte òf de richting òf beide tegelijk kan betreffen) breekt Newton bewust met het zeventiende-eeuwse mechanicisme, waarin in de beweging van een lichaam alleen door een ander bewegend lichaam verandering kon worden gebracht en drukt hij een persoonlijken stempel op de mechanica, die haar voortaan zal kenmerken.

Natuurlijk moet hij nu een axioma invoeren, dat vastlegt, waarin de uitwerking van een kracht bestaat. Hiermee is het punt bereikt, waarop de weg van de klassieke mechanica zich voor goed van dien der antieke scheidt. Het is niet moeilijk te begrijpen, welke de vinger was die de nieuw te kiezen richting kon wijzen. De ontwikkeling die de mechanica in de zeventiende eeuw had ondergaan, had geleid tot de opvatting van de zwaarte als een constante op het lichaam werkende kracht èn tot de overtuiging, dat zij een eenparig versnelde beweging veroorzaakt. Het te kiezen axioma moest nu op een of andere wijze het algemene inzicht tot uiting brengen, dat een constante kracht een constante versnelling teweegbrengt. De klassieke mechanica zou dit later doen door evenredigheid van kracht en versnelling te postuleren en dit uit te drukken door de fundamentele betrekking

$$\underline{K} = m.\underline{a}$$

waarin m de massa van het stoffelijk punt voorstelt, $\underline{K}$ de krachtvector en $\underline{a}$

de versnellingsvector. Men verwacht onwillekeurig, in de *Principia* zo al niet deze formule, dan toch een daarmee ten duidelijkste aequivalente bewering aan te zullen treffen.

299. Om na te gaan, in hoeverre dit inderdaad het geval is, vullen we eerst de boven gegeven definitie van *Quantitas Materiae* aan met die van *Quantitas Motus* (Definitie II). Deze wordt bepaald als een maat van de beweging, verkregen als product van de snelheid en de Quantitas Materiae. Het is dus de grootheid *mv*, die we o.m. reeds bij Descartes ontmoetten en die we toen reeds behalve door 'hoeveelheid beweging' door 'impuls' hebben weergegeven De meest correcte vertaling van de beide in de Definities I en II ingevoerde grootheden zou zijn: 'quantiteit van de materie', resp. 'van de beweging'. Daar we echter de eerste door 'hoeveelheid materie' plegen weer te geven en we ook van 'hoeveelheïd warmte' of 'hoeveelheid electriciteit' spreken, moet men, als men het woord impuls niet gebruiken wil, 'hoeveelheid beweging' zeggen. De nog vaak voorkomende vertaling 'hoeveelheid van beweging' is niets anders dan een onjuiste vertaling van het Franse 'quantité de mouvement'.

Newton kort Quantitas Motus gewoonlijk af tot Motus, een slordige zegswijze, die tot in onzen tijd navolging vindt, doordat men beweging inplaats van als een toestand als een grootheid behandelt en dus b.v. over grote en kleine bewegingen of over het voorstellen van een beweging door een vector spreekt[153].

300. De Definities V-VIII hebben nu verder speciaal betrekking op een vis centripeta, d.i. een kracht *waardoor lichamen van alle kanten naar enig punt als naar een centrum worden getrokken, gedreven of waarmee ze, hoe dan ook, naar dat centrum streven*. Zulk een centrale kracht wordt gekarakteriseerd door drie maatgetallen, die opv. haar *Quantitas Absoluta*, haar *Quantitas Acceleratrix* en haar *Quantitas Motrix* heten. De eerste blijkt niet zozeer betrekking te hebben op de kracht zelf als op het krachtcentrum dat haar uitoefent; zij geeft b.v. de sterkte van een magneetpool aan, die als centrum van een krachtveld fungeert; van de tweede wordt gezegd, dat ze evenredig is met de snelheid die de kracht in een gegeven tijd voortbrengt, terwijl de derde evenredig blijkt te zijn met den in een gegeven tijd voortgebrachten impuls. Newton deelt nog mede, dat hij kortheidshalve de drie ingevoerde quantitates *vis absoluta, vis acceleratrix* en *vis motrix* zal noemen, waardoor de spraakverwarring die reeds om het woord vis bleek te bestaan, nog verergerd wordt. Hij licht nog nader toe, dat de vis motrix het totale streven van een lichaam naar het krachtcentrum beduidt, dat samengesteld is uit de strevingen der afzonderlijke delen en dat de vis acceleratrix betrekking heeft op de plaats waar het lichaam zich bevindt; zij is een van uit het centrum naar de afzonderlijke plaatsen in het rond uitgebreid vermogen tot het bewegen van lichamen. Blijkbaar bedoelt hij met vis acceleratrix in een punt van een centraal

krachtveld dus de veldsterkte ter plaatse (die voor het zwaarteveld der aarde tevens de versnelling van de valbeweging bepaalt) en met vis motrix de totale kracht die een lichaam ondervindt (voor het zwaarteveld der aarde het gewicht).

301. Hierna zegt nu het tweede axioma:

> AXIOMA II. *De verandering (mutatio) van den motus* (d.w.z. van de Quantitas Motus of impuls) *is evenredig met de werkende vis motrix en heeft plaats langs de rechte lijn, volgens welke die kracht werkt*.

In de toelichting wordt nog gezegd, dat wanneer het lichaam waarop de kracht werkt, reeds in beweging verkeert, de door de werkende kracht voortgebrachte motus (die hier dus als verandering van den reeds aanwezigen motus optreedt) bij dezen wordt opgeteld, als de kracht in de richting van de beweging werkt, ervan wordt afgetrokken, wanneer zij tegengesteld gericht is aan de beweging en anders *oblique obliquo adjicitur* (scheef wordt toegevoegd aan een scheven motus). De laatste uitdrukking wordt niet verklaard maar haar betekenis zal uit het eerste Corollarium blijken.

Bij oppervlakkige beschouwing kan het den schijn hebben, alsof het eerste deel van dit axioma niets anders doet dan in onvolledigen vorm herhalen (onvolledig, omdat thans de toevoeging ‘in een gegeven tijd’ ontbreekt) wat in Definitie VIII al gezegd is. Dat is echter niet het geval. In deze definitie is meegedeeld, dat een kracht impuls teweegbrengt en dat twee krachten zich verhouden als de in denzelfden tijd voortgebrachte impulsen (het was dus zelf ook al meer een axioma dan een definitie); nu wordt uitgesproken, dat de nieuwe impuls met den reeds aanwezigen (die volgens het eerste axioma onveranderd zou voortbestaan, wanneer er geen kracht werkte) tot een totalen impuls wordt samengesteld (dus hem niet hindert, verzwakt of vervangt). Het tweede deel van het axioma bepaalt de richting van de impulsverandering.

302. Is hiermee nu iets vastgesteld, dat met de betrekking

$$\underline{K} = m.\underline{a}$$

van de klassieke mechanica aequivalent is? Om die vraag te beantwoorden voorzover ze de evenredigheid van de grootten van K en a betreft, kunnen we volstaan met op Definitie VIII te letten. Voor het geval, dat een constante kracht K gedurende t seconden op een aanvankelijk in rust verkerend stoffelijk punt met massa m werkt, volgt uit:

$$K = m.a \text{ en } v(t) = a.t$$

inderdaad wel:

$$K.t = m.v(t)$$

dus de evenredigheid van de kracht en den in een bepaalden tijd voortgebrachten impuls. Echter kan men geenszins tot het omgekeerde be-

sluiten. Wanneer, om een voorbeeld te noemen, een constante kracht K eens een versnelling teweegbracht die evenredig was met den tijd, wanneer dus de betrekkingen

$$K = m.c \text{ en } a = c.t$$

golden, zou in een beweging uit rust de snelheid van den tijd afhangen volgens de betrekking:

$$v(t) = \tfrac{1}{2}\, ct^2$$

dus zou gelden:

$$K.t^2 = 2.mv(t)$$

zodat weer de kracht evenredig zou zijn met den in een bepaalden tijd voortgebrachten impuls.

Voor de geldigheid van Definitie VIII en Axioma II is dus de geldigheid van de betrekking $K = ma$ wel voldoende, maar niet nodig. Zij zijn dus gezamenlijk niet met deze betrekking aequivalent.

303. Men heeft tot dusver algemeen in de Definities VII en VIII en het Axioma II wèl de betrekking $\underline{K} = m.\underline{a}$ gelezen. Het is er echter mee gegaan als met de kleren van den Keizer in het sprookje: iedereen zag ze, omdat hij overtuigd was, dat ze er waren, totdat een kind constateerde dat de Keizer niets aanhad. Zo heeft men in het inleidende hoofdstuk van Newtons *Principia* steeds uitgesproken gezien, dat een constante kracht een constante versnelling teweegbrengt en dat er evenredigheid bestaat tussen beider grootten (men las dan *mutatio* in Axioma II als veranderingssnelheid[154] en formuleerde het in modern tekenschrift als $\underline{K} = d/dt\,(\underline{mv})$ waaruit voor constante m inderdaad $\underline{K} = \underline{ma}$ volgt); wanneer men echter de gegeven fundering met kinderlijke onbevangenheid, dus met uitschakeling van wat men al weet en daarom verwacht te vinden, doorwerkt, blijkt ze den voornaamsten grondslag voor de klassieke mechanica juist helemaal niet te bevatten.

Waarschijnlijk heeft Newton de evenredigheid van kracht en versnelling weggelaten, omdat hij haar vanzelfsprekend vond, zoals ook Huygens[155] het zonder meer evident acht, dat wanneer op een stoffelijk punt een constante kracht werkt, de snelheid in gelijke tijden met gelijke bedragen moet toenemen. Beiden leven reeds zozeer in de nieuwe dynamische opvattingen, dat ze het meest kardinale verschilpunt met de oude niet eens meer de moeite van het vermelden waard vinden, een treffende illustratie van het snelle tempo, waarin nieuwe inzichten van paradox triviaal worden. Uit een oogpunt van axiomatisering - en daar gaat het hier om - beduidt de verzwijging van de evenredigheid van impuls en tijd, dus van het constant zijn van de versnelling, echter een leemte: terwijl namelijk de impuls aangroeit in evenredigheid met den tijd, groeit de kinetische energie in evenredigheid met den weg en hoe zal men nu òf

het ene òf het andere weten, als men het noch postuleert noch bewijst? Bovendien is volgens de Aristotelische opvatting van een axiomatisering evidentie een reden om iets als axioma te stellen, niet om het weg te laten.

304. Wordt door dit alles reeds de boven gemaakte opmerking, dat axiomatisering niet een taak was die Newton goed lag, bevestigd, zo vindt zij nog verderen steun in een onderzoek naar het gebruik, dat in de *Principia* van de meegedeelde definities en opgestelde axiomata gemaakt wordt; het blijkt namelijk, dat het tweede axioma, dat (wegens het gebruik van den term vis motrix) uitdrukkelijk alleen voor centrale krachten geldt, onbekommerd op niet-centrale krachten wordt toegepast; verder doet zich het merkwaardige feit voor, dat terwijl eerst vis acceleratrix en vis motrix zorgvuldig onderscheiden zijn, in het werk wel de eerste term voorkomt (in den zin van versnelling), maar nergens de tweede. Er is altijd gewoon sprake van vis en men geeft Newton's bedoeling het best weer door in Axioma II het woord *motrix* achter *vis* weg te laten. Voorts valt het op, dat de definities en axiomata alleen begrijpelijk zijn voor het geval van krachten die constant zijn in grootte en richting, terwijl ze uitsluitend zullen worden toegepast in gevallen, waarin noch het ene noch het andere het geval is, zonder dat verteld wordt, hoe men ze dan moet opvatten. Dat zou natuurlijk infinitesimale beschouwingen hebben vereist, zoals ook reeds bij het definiëren van het begrip snelheid gegeven hadden moeten worden. Als een der grondleggers van de differentiaalen integraalrekening zou Newton de aangewezen man zijn geweest om dit alles in orde te brengen, maar hij blijft niettemin voortdurend in gebreke dit te doen. Uit een oogpunt van wiskundige strengheid laten de *Principia* dan ook vrijwel alles te wensen over en wie uit dit werk de mechanica van Newton zou willen leren, zou de grootste moeilijkheden ondervinden.

305. Men heeft na kennismaking met het tweede axioma wel eens gemeend[156], dat hierdoor het eerste, de traagheidswet, overbodig wordt gemaakt: wanneer de impulsverandering, aldus de redenering, evenredig is met de werkende kracht, is er geen impulsverandering als er geen kracht werkt; van een aan de werking van alle krachten onttrokken stoffelijk punt is dus de impuls constant in richting en grootte en dat is juist wat het eerste axioma inhoudt. Men ziet daarbij echter over het hoofd, dat het ook denkbaar zou zijn (en in feite heel lang gedacht is) dat een impuls ook wel spontaan zou kunnen afnemen (het lichaam zou als het ware moe kunnen worden).

Die mogelijkheid wordt door het eerste axioma uitgesloten; uit zich zelf verandert de impuls dus niet; voor elke verandering is een kracht nodig; het tweede axioma zegt iets over de uitwerking van die kracht. Of anders uitgedrukt: het tweede axioma leert alleen, dat voor een impulsverandering de inwerking van een kracht voldoende is; het eerste heeft daarvoor al vastgesteld, dat ze ook nodig is; terwijl het tweede axioma

waarborgt, dat waar een kracht werkt, ook een versnelling optreedt, stelt het eerste in staat om uit de aanwezigheid van een versnelling tot de werking van een kracht te besluiten.

De bewering, dat de traagheidswet na opstelling van het tweede axioma, geen reden van bestaan heeft, kan wèl worden volgehouden, wanneer men, zoals in de latere ontwikkeling der klassieke mechanica wel gedaan is, kracht definieert als het product van massa en versnelling. Op dat standpunt staat Newton echter niet. In Definitie IV is vis impressa gedefinieerd als een van buiten af op een lichaam uitgeoefende werking en de toelichting zegt, dat deze van verschillenden oorsprong kan zijn, dat ze b.v. kan bestaan uit stoot, druk, aantrekking door een centrum. Kracht is dus een physische realiteit en niet slechts een naam voor het product van een coëfficiënt (massa) en een kinematische grootheid (versnelling).

Het kan weliswaar den schijn hebben, alsof in Definitie VIII de vis motrix gedefinieerd wordt als een grootheid die met de impulsverandering in zekeren tijd evenredig is en die dus b.v. aan de impulsverandering per tijdseenheid gelijk kan worden gesteld, maar Newton zegt in de toelichting, dat de vis motrix gemeten wordt door de kracht die haar kan opheffen (b.v. een gewicht hangend aan een over een katrol geslagen koord, dat de werking van een krachtcentrum in evenwicht houdt) en de z.g. definitie spreekt nu als axioma uit, dat met de zo gemeten vis motrix de in zekeren tijd voortgebrachte impuls evenredig is.

306. Het verschil tussen deze opvatting en die waarin men $\underline{K} = \underline{ma}$ als definitieformule voor kracht beschouwt, is voor den opbouw van de mechanica van principiële betekenis. In het eerste geval denkt men zich b.v. eerst door statische meting vastgesteld, dat een kracht tweemaal zo groot is als een andere en beweert dan, dat zij, op eenzelfde stoffelijk punt werkend, een tweemaal zo grote versnelling teweeg zal brengen als die andere. De uitdrukking: ‘de eerste kracht is tweemaal zo groot als de tweede’ heeft dus een betekenis die onafhankelijk is van het feit, of de krachten al dan niet een stoffelijk punt in beweging zullen gaan brengen, evenals een electrisch potentiaalverschil bestaat en gemeten kan worden zonder dat men het behoeft te gebruiken om in een metaaldraad een stroom op te wekken. We kunnen dit de realistische opvatting van kracht noemen en er als de nominalistische de andere tegenoverstellen, die in de bedoelde uitdrukking niets anders ziet dan een vaststelling van het feit, dat een zeker stoffelijk punt in het ene geval een tweemaal zo grote versnelling had dan in het andere. Volgens deze opvatting is het woord kracht in beginsel ontbeerlijk; het wordt alleen gebruikt, omdat het, zoals nog blijken zal, in sommige gevallen de wijze van uitdrukken aanzienlijk bekort.

307. We moeten thans nog terugkomen op de uitdrukking *oblique obliquo adjicitur*, waarin moet staan aangegeven, hoe men den nieuwen impuls bepaalt, wanneer de impulsverandering een hoek maakt met den aanwezigen impuls. Er wordt blijkbaar aan vectoroptelling gedacht; deze kan

echter voor het geval van een continu werkende kracht alleen worden toegepast, als de kracht constant van richting is; is haar richting veranderlijk, zoals bij een centrale kracht in het algemeen het geval zal zijn, dan kan men na het verstrijken van een zeker tijdvak niet meer den aanwezigen impuls vinden als vectorsom van den oorspronkelijken en een enkelen nieuw voortgebrachten, die gelijkgericht is met de kracht. Er zijn dan weer infinitesimale beschouwingen vereist, die echter niet gegeven worden, terwijl er ook niets op wijst, dat er aan gedacht wordt.

De bedoeling kan echter ook wel deze zijn, dat de impulsverandering door een stoot, dus plotseling, wordt teweeggebracht; dan is weliswaar de term vis motrix niet meer van toepassing, maar, zoals we boven reeds gezien hebben, zal men om Newton's bedoeling te benaderen, goed doen, niet te veel betekenis aan dien term te hechten. Vat men het axioma zo op, dan is tevens het weglaten van den term ‘in een gegeven tijd’, die in Definitie VIII voorkwam, verklaard. Dat Newton bij de formulering van het axioma onder meer aan stootkrachten gedacht heeft, blijkt uit de toelichting, waarin staat, dat de kracht, hetzij eenmaal in eens, hetzij gestadig en achtereenvolgens werkt, waaruit we tevens kunnen zien, dat het toch ook weer niet alleen voor stootkrachten geldt. En het wordt bevestigd door de afleiding van het eerste Corollarium, waarin de uitwerking van twee gelijktijdige stoten wordt afgeleid:

> *Een lichaam beschrijft door de gezamenlijke werking van twee krachten in denzelfden tijd de diagonaal van een parallelogram, waarvan het de zijden door elk der krachten afzonderlijk zou beschrijven*.

Er is weer gewoon van vires sprake; dat hiermee nu echter stootkrachten worden bedoeld, blijkt uit de onderstelling, dat het lichaam (Fig. 46)

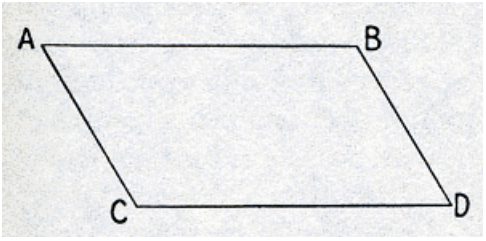


Fig. 46. Samenstelling van twee gelijktijdig werkende stootkrachten volgens Newton, *Principia, Axiomata*, Cor. I.

onder invloed van de kracht *M* alleen in eenparige beweging den weg *AB* zou doorlopen en onder invloed van de kracht *N* alleen eveneens in eenparige beweging den weg *AC*. Is nu *BD* $\parallel$ *AC*, dan zal kracht *N* de snelheid van nadering tot *BD* niet veranderen, omdat volgens het tweede axioma een impulsverandering de richting van de werkende kracht heeft. Na verloop van den beschouwden tijd is het lichaam dus ergens op *BD*; om dezelfde reden ergens op *CD* $\parallel$ *AB*, dus in *D*. Daar het na het ontvangen van de stoten in *A* aan zichzelf overgelaten is geweest, moet het volgens Axioma I zich eenparig rechtlijnig bewogen hebben, dus over *AD*. Wat hier als corollarium van de axiomata I en II wordt voorgesteld, was echter in axioma II reeds bekend ondersteld.

308. Als derde en laatste axioma wordt nog uitgesproken, dat bij iedere actie een even grote tegengesteld gerichte reactie aanwezig is, m.a.w. dat wat op iets anders een kracht uitoefent, daarvan ook wederzijds een even grote kracht in tegengestelde richting ondervindt.

Van de Corollaria der Leges vermelden we nog het tweede, waarin de stelling van het parallelogram van continu werkende krachten als een onmiddellijk gevolg van het eerste Corollarium wordt voorgesteld (zonder dat duidelijk wordt, hoe dat in zijn werk gaat) en drie daarop volgende, waarin wordt uitgesproken, dat in een afgesloten stelsel de totale impuls constant is, het zwaartepunt in rechtlijnige eenparige beweging verkeert en de onderlinge bewegingen niet veranderen, wanneer men aan het gehele stelsel een eenparige rechtlijnige translatie meedeelt (het ons reeds bekende relativiteitsbeginsel der klassieke mechanica).

In een Scholium worden nog proeven over botsing en wederzijdse aantrekking behandeld, die een experimentele verificatie van het derde axioma leveren. Bovendien worden enkele historische mededelingen gedaan; er wordt o.m. gezegd, dat Galilei met behulp van het eerste axioma de valwet en Huygens door bovendien het derde te gebruiken, de botsingswetten heeft afgeleid. Beide beweringen zijn langen tijd op gezag van Newton voor waar gehouden, hoewel men slechts even de oorspronkelijke werken der beide geciteerde auteurs had behoeven in te zien om zich van haar onjuistheid te overtuigen. Hoe taai het leven van historische misvattingen zijn kan, blijkt duidelijk hieruit, dat de door Newton in omloop gebrachte voorstelling van de wijze, waarop Galilei de valwetten zou hebben afgeleid, nog steeds niet geheel is uitgeroeid.

309. Het is niet onmogelijk, dat de boven gegeven kritische beschouwing van het axiomastelsel waarin Newton de klassieke mechanica fundeert, door niet mathematisch geschoolde lezers met enige bevreemding zal zijn gevolgd. Hoe nu? zullen zij zeggen. Eerst wordt ons Newton voor ogen gevoerd als het universele genie, dat een nieuw tijdperk in de geschiedenis van het denken opent, als de grondlegger van een wetenschap die den mens tot voorheen onvermoede inzichten in de natuur zal leiden en hem in staat zal stellen tot technische verrichtingen die de stoutste phantasieën van het verleden overtreffen. En nu blijkt er zoveel aan te merken te zijn op de wijze waarop hij de beginselen van het vak, waarop dit alles steunt, behandelt! Als het eerste waar is, is dan het tweede niet zonder enige wezenlijke betekenis? Is het niet een kleingeestig gefit, om onvolkomenheden aan te wijzen in de inleidende beschouwingen van een werk, waarvan iedere bladzijde blijk geeft van de geniale wijze waarop de schrijver de nieuwe inzichten weet te hanteren?

Wie wel wiskundig onderlegd is, zal zo niet spreken. Hij weet, dat het in de wiskunde niet alleen aankomt op de doeltreffendheid der ontwikkelde methoden, maar ook op de exactheid van hun motivering, en dat de onverpoosde arbeid aan de versteviging van de grondslagen waarop het

gebouw der mathesis rust, van niet minder wezenlijke betekenis is dan de uitbreiding naar boven. Hij wil niet slechts tot spreken en handelen in staat zijn, maar ook weten wat hij zegt en op welke gronden zijn doen berust.

Natuurlijk staat verder de kritische houding ten aanzien van Newton's axiomastelsel het besef van de historische betekenis die er aan eigen is, niet in het minst in den weg. Wat aan de antieke dynamica altijd ontbroken had, de uitdrukkelijke formulering van haar grondslagen, wordt in de *Principia* voor de klassieke geleverd. Daardoor was een vast fundament voor den verderen opbouw gelegd en dat latere generaties zich genoodzaakt hebben gezien, dit fundament hier en daar aan te vullen en te wijzigen, heeft hen nooit blind gemaakt voor de grote waarde van de daad die Newton door het te leggen verricht heeft.

b. *De dynamica der hemelbewegingen*

310. In de boven behandelde fundering der mechanica werd in het algemeen over de werking van een kracht gesproken, maar werd nog geen enkele onderstelling gemaakt over de wetten die in speciale gevallen grootte en richting van een kracht bepalen; het was alleen de nadruk die op centrale krachten gelegd werd, waarin al iets van een verbijzondering van het algemene krachtbegrip bleek.

Dat wordt natuurlijk anders in de drie boeken die den eigenlijken inhoud van de *Principia* vormen en waarin de nieuwe mechanica wordt toegepast. Wij kunnen echter, zonder de eisen die in dit boek aan de wiskundige geschooldheid van den lezer gesteld mochten worden uit het oog te verliezen, niet op den inhoud van die boeken ingaan en moeten dus volstaan met er enkele resultaten uit te vermelden die voor ons doel speciaal van belang zijn.

Newton slaagt er vooreerst in, te bewijzen, dat voor alle bewegingen die het gevolg zijn van de werking van een centrale kracht, onafhankelijk van de wet die bepaalt hoe de grootte van de kracht van den afstand tot het centrum afhangt, de perkenwet geldt, en dat omgekeerd uit de geldigheid van deze wet ook volgt, dat de kracht gericht is naar het centrum, waaruit de voerstraal die de perken beschrijft, getrokken is. Uit de tweede van de wetten van Kepler voor de planetenbeweging volgt dus, dat de planeet een kracht ondervindt die naar de zon gericht is. Vervolgens toont hij aan, dat wanneer een stoffelijk punt onder invloed van een naar een der brandpunten gerichte kracht een ellips beschrijft, de grootte van de kracht omgekeerd evenredig is met het vierkant van den afstand tot het krachtcentrum, zodat in verband met de eerste wet van Kepler besloten kan worden, dat de planeten volgens deze krachtwet door de zon aangetrokken worden. Volgens het derde axioma moet dus de planeet de zon met een evengrote, maar tegengesteld gerichte kracht aantrekken. Newton breidt

dit resultaat nu uit tot alle materiële lichamen in het heelal en komt zo tot de opstelling van het algemene gravitatiebeginsel, waarin wordt uitgesproken, dat elk tweetal materiedeeltjes in het heelal op elkaar gelijke aantrekkende krachten uitoefenen, waarvan de grootte recht evenredig is met de hoeveelheden materie (massa's) dier deeltjes en omgekeerd evenredig met het vierkant van hun afstand. Hierdoor was de mogelijkheid geopend, alle bewegingen in het heelal wiskundig te behandelen, terwijl tevens de zwaarte als bijzonder geval van de algemene gravitatie kon worden opgevat en dus de valbeweging op aarde, de beweging van de maan om de aarde, de bewegingen van de planeten om de zon en die van de manen van een planeet om deze, alle als uitwerkingen van eenzelfde krachttype konden worden beschouwd.

311. Wij hebben hier in enkele woorden een vondst moeten samenvatten die eerst ten koste van een ontzaglijke geestesinspanning heeft kunnen worden gedaan en die een van de hoogtepunten van de geschiedenis van het denken beduidt. Dat ze dat doet, blijkt vooreerst als men, in de toekomst ziende, bedenkt, dat van hieruit de weg openlag naar de uiterst nauwkeurige dynamische behandeling van de bewegingen der lichamen in ons zonnestelsel, die altijd een van de grootste triomphen van de mathematische natuurwetenschap zal blijven; het wordt echter niet minder duidelijk als men, den blik in het verleden slaande, de eenheid van visie op het physisch heelal, die thans bereikt was, vergelijkt met de ongelijksoortigheid die men aanvankelijk in de op aarde en de aan den hemel waargenomen bewegingsverschijnselen had aangenomen. Wat vroeger òf onverzoenlijke tegenstellingen hadden geleken, zoals de natuurlijke valbeweging van een zwaar lichaam en de gedwongen worp, bewegingen van vallende, opstijgende of voortgeworpen lichamen op aarde en die van de planeten aan den hemel òf met andere bewegingen geen enkel punt van vergelijking had schijnen te bieden, zoals het verschijnsel van eb en vloed, bleek nu alles uitwerking te zijn van een enkele natuurkracht, die aan een universele wet gehoorzaamt. Een weggeworpen steen, die de aarde op des te groter afstand van het uitgangspunt treft, naarmate de beginsnelheid groter is, wordt een maan, als men die beginsnelheid maar groot genoeg kiest; de maan wordt een steen die op de aarde neervalt, als haar tangentiële snelheid wordt weggenomen. De beweging die ze in werkelijkheid uitvoert, komt even goed tot stand door samenstelling van de eenparige rechtlijnige beweging die ze zou bezitten, als ze onttrokken kon worden aan alle uitwendige invloeden en haar voortdurenden val naar de aarde, als die van een bal die door een kind wordt weggeworpen. Onder elkanders gecombineerde invloeden beschrijven alle lichamen van het zonnestelsel banen die door de wetten van Kepler nog slechts in eerste benadering kunnen worden voorgesteld, maar zelfs de bijna onoverzienbare complicatie van hun gestoorde bewegingen bevredigt nog steeds de Pythagoraeïsche behoefte aan harmonie, omdat de eenheid van een door-

zichtige mathematische wet er aan ten grondslag ligt. Deze wet, die in modern tekenschrift niet meer voor haar uitdrukking vereist dan de simpele formule:

$$K = f \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

waarin m_1 en m_2 de massa's der twee beschouwde stoffelijke punten voorstellen en r hun afstand, terwijl K de grootte der krachten beduidt waarmee ze elkander wederzijds aantrekken, levert, samen met de algemene wetten en methoden der klassieke mechanica, de middelen op, alle kosmische bewegingen mathematisch te behandelen.

312. Wij moeten hier niet alleen het stilzwijgen bewaren over de wijze, waarop Newton in zijn *Principia* zijn algemene gravitatiewet invoert en toepast, maar ook over de worsteling waarin hij de moeilijkheden te boven is gekomen die voor de verwerving van zijn nieuwe inzicht overwonnen moesten worden en over het gedeeltelijke succes dat anderen vóór hem reeds hadden bereikt in de richting waarin hij het volledig behaalde[157] Het is namelijk voor ons doel van meer belang, na te gaan, welke betekenis de opstelling van zijn theorie voor de ontwikkeling van de natuurphilosophie bezeten heeft en in het bijzonder, welken invloed zij op de mechanistische beschouwingswijze van de natuur heeft uitgeoefend.

Na alles wat we boven over het zeventiende-eeuwse mechanicisme hebben meegedeeld, zal het niet meer zo verwonderlijk klinken als zonder die voorbereiding het geval zou zijn geweest, wanneer we vaststellen, dat de gravitatietheorie door de vooraanstaande vertegenwoordigers der ware mechanistische philosophie (om met Boyle en Huygens te spreken) als een terugval in overwonnen geachte middeleeuwse opvattingen en als een soort verraad aan de goede zaak der natuurwetenschap werd beschouwd. Men had zich na veel strijd bevrijd van de qualiteiten- en vermogensphysica der Scholastiek en van alle animistische verklaringsprincipes, die met begrippen als sympathie en antipathie werkten; men had alle krachtwerking leren beschouwen als effect van beweging van materiële delen en men erkende geen andere wijze meer waarop lichamen elkander kunnen beïnvloeden dan de in onmiddellijke aanraking uitgeoefende botsingskrachten; men had ingewikkelde bewegingsstelsels verzonnen om de bewegingen der planeten om de zon en die van zware lichamen op aarde door bewegingen van corpuscula te verklaren en werd nu plotseling uitgenodigd, al deze voorstellingen op zij te zetten en alles te verklaren door een geheimzinnige kracht, die twee door een lege ruimte van elkaar gescheiden lichamen zonder enige tussenkomst van een bemiddelend medium op elkaar zouden uitoefenen. Men kon niet eens beweren, dat dit een terugkeer tot peripatetische opvattingen beduidde, want de gehele Scholastiek had met de ene uitzondering van den altijd weerbarstigen Ockham de gedachte aan een actio in distans, een werking uit de verte, verworpen.

Maar het leek evenzeer in strijd met de mechanistische natuurbeschouwing als het geweest zou zijn, wanneer Newton had gezegd, dat de zon in de planeten een qualiteit verwekt, die hen ellipsen doet beschrijven.

313. Wij zullen ons om deze reactie te illustreren beperken tot enkele uitlatingen van Newtons allergrootste tijdgenoten: Huygens en Leibniz (welke laatste, ongeacht zijn metaphysische denkbeelden, op physisch gebied altijd een consequent mechanicist geweest is).

De eerste schrijft op 11 Juli 1687, nog voor dat hij de *Principia* in handen heeft gehad aan Fatio de Duillier[158]:

> Je souhaitte de voir le livre de Newton. Je veux bien qu'il ne soit pas Cartesien pourvu qu'il ne nous fasse pas des suppositions comme celle de l'attraction.

Op 18 November 1690 aan Leibniz[159]:

> Pour ce qui est de la cause du Reflus que donne Mr Newton je ne m'en contente nullement, ni de toutes ses autres Theories qu'il bastit sur son Principe d'attraction, qui me paroit absurde.

En in het *Discours de la Cause de la Pesanteur*[160] zegt hij, dat de wederzijdse attractie van elk tweetal stofdeeltjes voor hem onaanvaardbaar is:

> par ce que je crois voir clairement, que la cause d'une telle attraction n'est point explicable par aucun principe de Mechanique, ni des regles du mouvement comme je ne suis pas persuadé non plus de la necessité de l'attraction mutelle des corps entiers; ayant fait voir que, quand il n'y auroit point de Terre, les corps ne laisseroient pas, par ce qu' on appelle leur pesanteur de tendre vers un centre.

Leibniz is niet minder beslist in zijn afwijzing: wanneer hij op 20 Maart 1693 aan Huygens schrijft[161] over het mogelijke probleem van de verklaring der cohaesie, keurt hij het af, dat men daarvoor een nieuwe onverklaarbare qualiteit invoert:

> laquelle estant accordée, on passeroit bientost à d'autres suppositions semblables, comme à la pesanteur d'Aristote, à l'attraction de Mons. Newton, à des sympathies ou antipathies et à mille autres attributs semblables.

En in October 1690 had hij na bestudering van de *Principia* al verklaard, niet te begrijpen, hoe Newton toch de zwaarte of attractie beschouwde[162]:

> Il semble que selon luy ce n'est qu'une certaine vertu incorporelle et inexplicable au lieu que vous l'expliqués tres plausiblement pas les loix de la mecanique.

Natuurlijk zien ze beiden heel goed de grote waarde van verscheidene door Newton bereikte resultaten in. Huygens begroet in het bijzonder de weerlegging van de vortextheorie van Descartes voor de planetenbeweging, die in het tweede boek van de *Principia* gegeven wordt, als een zeer be-

langrijken vooruitgang[163]; ook hecht hij grote waarde aan het inzicht, dat het gewicht van een lichaam bij verwijdering van de aarde afneemt en dat ook de maan aan de aardse zwaarte onderworpen is[164]; maar hij weigert toe te geven, dat deze laatste resultaten werkelijk physisch verklaard zijn. Newton lost hier naar zijn inzicht geen problemen op, maar stelt de mechanistische natuurverklaring voor een nieuwe taak. Een begrip als gravitatie kan daarbij als niet in de mechanica thuishorend geen dienst doen.

c. *Newton's natuurphilosophische denkbeelden*

314. Er is in al de boven weergegeven beschouwingen van Huygens en Leibniz en in soortgelijke uitlatingen van andere tijdgenoten waarin aan Newton ondubbelzinnig verweten wordt, dat hij de natuurwetenschap terugvoert op dwaalwegen die ze reeds voor goed verlaten scheen te hebben, ongetwijfeld te weinig rekening gehouden met de denkbeelden over het doel en de draagwijdte van zijn theorie die hij op meer dan een plaats in de *Principia* uiteenzet en die hij in de *Opticks* zal aanvullen.

Reeds in de achtste definitie verweert hij zich tegen de voorstelling, als zoude hij in de verschillende *vires* waarvan hij zich bedient, de diepste oorzaken van de behandelde verschijnselen hebben willen aangeven. De quantitas absoluta van een centrale kracht, de sterkte van een krachtcentrum, is slechts een mathematisch begrip. Als er van aantrekking, voortdrijving of neiging sprake is, moet men deze krachten niet in physischen, maar in mathematischen zin verstaan. Wanneer gezegd wordt, dat een centrum aantrekt, dan wordt daarmee niet bedoeld, den waren aard der krachtwerking aan te geven of haar physische oorzaak te omschrijven. En in het *Scholium Generale* waarmee de *Principia* besloten worden, schrijft hij het volgende:

> Tot nu toe heb ik de verschijnselen van de hemelen en van onze zee met behulp van de zwaartekracht uiteengezet, maar de oorzaak van de zwaarte heb ik nog niet aangewezen. In ieder geval ontstaat deze kracht door een of andere oorzaak, die zonder vermindering van sterkte doordringt tot in de centra van de zon en de planeten, die niet evenredig is met de oppervlakten der deeltjes, waarop ze werkt (zoals mechanische oorzaken plegen te zijn), maar met de hoeveelheid der ruimtelijk verdeelde materie, en waarvan de actie zich in alle richtingen tot op onmetelijke afstanden uitstrekt, daarbij steeds afnemend in evenredigheid met het vierkant van den afstand. De zwaarte naar de zon wordt samengesteld uit de zwaarten naar de afzonderlijke deeltjes van de zon... De oorzaak van deze eigenschappen der zwaarte heb ik echter nog niet uit de verschijnselen kunnen afleiden en hypothesen verzin ik niet. Wat namelijk niet uit de verschijnselen wordt afgeleid, moet hypothese worden genoemd en hypothesen, hetzij metaphysische, hetzij physische, hetzij die met occulte hoedanigheden werken, hetzij mechanische,

> horen in de Experimentele Philosophie niet thuis. In deze Philosophie worden proposities afgeleid uit verschijnselen en door inductie gegeneraliseerd. Zo zijn de ondoordringbaarheid, de beweegbaarheid en de impetus der lichamen, de bewegingswetten en de gravitatiewet bekend geworden. En het is voldoende, dat de zwaarte werkelijk bestaat en werkt volgens de door ons uiteengezette wetten en toereikend is voor de bewegingen van de hemellichamen en van onze zee.

315. Het is onmiskenbaar, dat in deze woorden een zeer uitgesproken opvatting omtrent het doel en de draagwijdte van een natuurwetenschappelijke theorie tot uiting komt; het is alleen niet zo gemakkelijk te zeggen, waaruit ze eigenlijk bestaat. Newton wil blijkbaar evenmin als de mechanicisten iets weten van een verklaring van natuurverschijnselen met behulp van metaphysische beginselen, zoals potentia en actus, of van qualiteiten die alleen worden ingevoerd om rekenschap te geven van bepaalde verschijnselen, zonder dat blijkt, waaruit ze eigenlijk bestaan en hoe ze die verschijnselen in het leven roepen; hij wil echter evenmin de mechanistische verklaringen aanvaarden, die op onderstelde bewegingen van hypothetisch aangenomen corpuscula berusten, voor welker bestaan en eigenschappen geen andere argumenten kunnen worden aangevoerd dan dat de waargenomen verschijnselen er uit kunnen worden afgeleid. Hij wil zich voor de verklaring van de planetenbeweging en het getijdenver-schijnsel uitsluitend bedienen van krachten waarvan de aanwezigheid door de ervaring getoond wordt, en zich niet eerder bezig houden met de dieperliggende oorzaken van het bestaan dier krachten dan wanneer daarover door waarneming of proefneming iets zal kunnen blijken. Wanneer hij zegt, dat een zeker stoffelijk punt door een centrum wordt aangetrokken, wordt daarmee voorlopig alleen bedoeld, dat het een naar dat centrum gerichte kracht ondervindt; zolang niet blijkt, hoe het komt, dat die kracht werkt, mag men evengoed zeggen, dat het naar dat centrum gedreven wordt of er heen streeft. De quantitas absoluta van een centrale kracht is een, dat krachtcentrum karakteriserende, grootheid waarvan de grootte van de kracht die een lichaam in het veld van dat centrum ondervindt, afhangt; wanneer echter de hoeveelheid materie van een centraal lichaam, de sterkte van een magneetpool of van een electrische puntlading als zodanig fungeert, dan is daarmee nog niets vastgesteld over het wezen van materie, magnetisme of electriciteit en over de wijze waarop het centrum krachten uitoefent.

316. Men mag dit niet zo verstaan, als zoude Newton de diepere oorzaken van de door waarneming vastgestelde krachten voor principieel onkenbaar houden: in het boven geciteerde scholium zegt hij tweemaal ‘nog niet’ en we zullen nog zien, dat hij zich wel degelijk gedachten heeft gemaakt over de mogelijkheid, de algemene gravitatie nog weer uit dieperliggende beginselen af te leiden; dat zouden dan echter beginselen moeten zijn, die even duidelijk uit de ervaring zouden kunnen worden

afgelezen als dat met de gravitatie zelf het geval is en dus evenmin als deze den naam hypothese (waaraan Newton dus een zeer speciale betekenis hecht) zouden verdienen. Dat een planeet zwaar is naar de zon (aldus de uitdrukking waarvan hij zich bij voorkeur bedient) is geen hypothese: de ervaring heeft geleerd, dat zij een ellips beschrijft waarvan een der brandpunten in de zon ligt en dat zij daarbij de perkenwet in acht neemt; daaruit volgt echter wiskundig, dat zij een naar de zon gerichte kracht ondervindt die omgekeerd evenredig is met het vierkant van den afstand. Zolang de ervaring ons niets leert omtrent de wijze waarop die kracht wordt uigeoefend, vereist de gezonde natuurwetenschappelijke methode, dat men blijft staan bij de vaststelling van het feit van haar werking en zich niet in oncontroleerbare gissingen over den grond van die werking begeeft.

Er bestaat een vèrgaande overeenstemming tussen dit standpunt van Newton in de dynamica der kosmische bewegingen en dat van Galilei in de kinematica van val en worp. Galilei wilde alleen maar vaststellen, hoe vallende en voortgeworpen lichamen zich bewegen, niet op grond van de mening, dat men er niet meer van te weten kan komen, maar omdat het verloop van een beweging eerst nauwkeurig moet zijn vastgesteld, voordat men met vrucht de vraag naar haar oorzaken kan stellen. Newton wil zich voorlopig beperken tot het opsporen van de krachten die de bewegingen der hemellichamen beheersen, niet uit de overtuiging, dat een dieper doordringende kennis van de wijze waarop die krachten worden uitgeoefend, in beginsel uitgesloten is, maar omdat er geen andere aanwijzingen daarover zijn dan die aan een oncontroleerbare phantasie ontspruiten.

Beiden betrachten een wijze zelfbeperking en het is even onbillijk, Newton te verwijten, dat hij de vraag naar het wezen der gravitatie bewust uitschakelt, als er Galilei minder om te achten omdat hij zich niet verdiept in de krachten die den val en den worp in het leven roepen.

317. Er is echter aanleiding, de vraag te stellen, of Newtons bedoelingen niet nog verder gaan dan boven is aangegeven en of met name de nadruk dien hij op het mathematisch karakter van zijn *vires* legt, niet het bewijs levert, dat hij over het krachtbegrip de opvatting huldigt die wij boven als de nominalistische tegenover de realistische plaatsten. Volgens deze opvatting zijn niet alleen termen als ‘aantrekking’, en ‘streven’ ontbeerlijke woorden, die slechts een overbodige precisering van het krachtbegrip inhouden, maar geldt van het woord ‘kracht’ hetzelfde. Men mag eigenlijk alleen zeggen - want dat leert de mathematisch bewerkte ervaring alleen - dat twee stoffelijke punten in elkaars aanwezigheid versnellingen bezitten, die langs hun verbindingslijn tegengesteld gericht zijn en die zich omgekeerd verhouden als zekere aan die punten toe te kennen onveranderlijke coëfficiënten, die hun massa's heten, en het is alleen een afkortende en tevens aan vertrouwde voorstellingen herinnerende zegswijze,

dat zij gelijke tegengestelde krachten ondervinden waarvan de grootte voor elk der twee punten het product is van de massa van dat punt en van de versnelling die het bezit.

Hoewel deze opvatting wel in de lijn van Newton's denkwijze schijnt te liggen, zou het niet verantwoord zijn, ze aan hem toe te schrijven. Er is namelijk geen enkele aanwijzing, dat hij reeds het kritische standpunt tegenover het krachtbegrip zou hebben ingenomen dat in een veel later stadium van de ontwikkeling van het denken over de mechanica tot deze beschouwingswijze zou voeren. Hij spreekt zonder enig voorbehoud over krachten als over voorlopig niet nader te verklaren physische realiteiten, die even werkelijk impulsveranderingen teweegbrengen als een bol die tegen een anderen botst, dezen voortdrijft. De voorzichtige formulering, dat een planeet en de zon in elkanders aanwezigheid (men mag niet eens zeggen: tengevolge van elkanders aanwezigheid) zekere versnellingen blijken te bezitten, moge ons in zijn mond niet kwalijk schijnen te passen en zelfs in sommige van zijn uitlatingen een formelen steun schijnen te vinden, de gehele denkwijze die er aan ten grondslag ligt en die alleen de mogelijkheid van beschrijving en niet die van verklaring der natuurverschijnselen erkent, is hem innerlijk vreemd.

318. Schuilt er in de beoordeling die Newton's theorie van de zijde van Leibniz en Huygens ten deel is gevallen, veel onbillijks, zo kan men anderzijds aan hun bezorgdheid over den invloed dien de wederinvoering van het begrip kracht in den zin van bewegingsoorzaak op de ontwikkeling der natuurkunde zou kunnen hebben, niet alle bestaansrecht ontzeggen en er zelfs een zekeren profetischen blik in erkennen. Het woord kracht heeft namelijk in de physica maar al te vaak een functie vervuld die van die der scholastieke qualiteiten en vermogens niet principieel verschilde. Dezelfde physici die den spot dreven met verklaringen, waarin van hoedanigheden sprake was, voelden zich volkomen bevredigd wanneer er maar gezegd werd, dat er een kracht werkte en nog tegenwoordig kan men bij beginnelingen in de natuur- en scheikunde opmerken, dat door het noemen van dit toverwoord aan hun causaliteitsbehoefte volkomen wordt voldaan. Hoe komt het, dat zware lichamen drukken op de hand die ze ondersteunt en vallen als men ze loslaat? Omdat de aarde ze aantrekt! Waarom valt een vast lichaam niet uiteen in zijn kleinste deeltjes? Omdat deze elkaar aantrekken! Waarom verbinden sommige stoffen zich zo heftig met elkaar? Wegens de grote affiniteit die ze tot elkaar hebben!

Mag men dan niet van aantrekkingskracht der aarde, van cohaesie en van affiniteit spreken? Men kan het rustig blijven doen, mits men slechts zich zelf er van bewust blijft en anderen er zo nodig van bewust maakt, dat de oorzaken der verschijnselen daardoor alleen een naam gekregen hebben en dat achter die naamgeving alleen reële kennis schuilt, voorzover men een mathematische wet kan formuleren die de werking der ingevoerde krachten bepaalt. Waar dat niet gebeurt, bestaat altijd het gevaar,

dat de krachten-terminologie een illusie van inzicht voorspiegelt en het gevoel voor het raadselachtige in alle natuurverschijnselen afstompt.

319. De hautaine wijze waarop Newton in het *Scholium Generale* (IV: 314) zijn befaamde uitspraak *Hypotheses non fingo* (Hypothesen verzin ik niet) lanceert, geeft aanleiding om eens na te gaan, in hoeverre hij aan dit voornemen getrouw is gebleven. Het trekt reeds dadelijk de aandacht, dat hij op dezelfde bladzijde waarop zij staat, reeds dadelijk een onderstelling oppert

> over een uiterst subtielen spiritus die de grove lichamen doordringt en daarin verborgen is, door welks kracht en activiteit de deeltjes der lichamen elkaar op kleine afstanden wederzijds aantrekken en, eenmaal in contact gekomen, blijven samenhangen, waardoor electrische lichamen op grotere afstanden werken in het afstoten en aantrekken van naburige deeltjes, licht wordt uitgezonden, teruggekaatst, gebroken en gebogen en lichamen verwarmt, iedere gewaarwording wordt opgewekt en de ledematen der levende wezens naar willekeur bewogen worden.

Er blijken echter niet voldoende experimenten ter beschikking te staan om de wetten waaraan de werking van dezen spiritus gehoorzaamt, nauwkeurig vast te stellen en te bewijzen, maar dat hij zijn grote werk met de vermelding van dit phantastische denkbeeld besluit, bewijst toch wel, dat het *hypotheses fingere* een grotere bekoring op hem uitoefent, dan men na zijn stroeve beginselverklaring zou verwachten. En die indruk wordt nog versterkt wanneer men kennis neemt van zijn onderzoekingen over optica, die in zijn in 1706 verschenen *Opticks* staan samengevat.

320. Het werk *Opticks*[165] begint met een behandeling van de ontdekking van de samenstelling van wit licht uit stralen van verschillende breekbaarheid, die een model vormt van de methode die volgens zijn opvatting in de Philosophia Experimentalis gevolgd moet worden. Hier worden werkelijk langs exact-experimentelen weg feiten vastgesteld en vermoedens die naar aanleiding daarvan rijzen, door nieuwe experimenten bevestigd of weerlegd, zonder dat er sprake is van pogingen om dieper in het wezen van het licht door te dringen dan de aangetoonde feiten rechtvaardigen. Echter wordt deze gedragslijn niet volgehouden. Het experimentele onderzoek van interferentieverschijnselen, met name van de naar hem genoemde ringen, leidt reeds tot het opstellen van verklaringen die de qualificatie hypothese in den zin waarin hij ze in de *Principia* zo streng verworpen had, wel zeer verdienen; en aan het slot van het werk laat hij zich geheel gaan in bespiegelingen over het wezen van het licht die zich aan iedere experimentele controle onttrekken. Hij doet dat dan echter wel met een kwaad geweten: alle opgestelde hypothesen worden namelijk als vragen geformuleerd: is het niet zo, dat...?, waardoor formeel de mogelijkheid openblijft, alle verantwoordelijkheid er voor af te wijzen. Dit maakt de lectuur weinig aantrekkelijk: de verschillende ontwikkelde onderstellingen worden zeer onvolledig geformuleerd en nooit tot een samenhangende theorie uitgewerkt en als men zich moeite geeft, zich er in te

denken, voelt men zich voortdurend geremd door de overweging, dat de schrijver ze toch niet onvoorwaardelijk als de zijne erkent. Men zou liever òf een dogmatische zelfverzekerdheid zien, zoals Descartes die aan den dag legt, òf een volkomen onthouding van elke niet empirisch controleerbare verklaring.

321. Om het bovenstaande met een enkel voorbeeld toe te lichten, geven we hier Newtons verklaring van de ringen die optreden, wanneer men een zeer flauw gekromde planconvexe lens (Fig. 47) tegen een vlakke glasplaat aandrukt en nu de tussen beide ingesloten luchtlaag in opvallend en doorvallend licht bekijkt[166].

Newton stelt door meting van de stralen der ringen vast, dat er in het teruggekaatste licht lichte ringen optreden bij waarden van $d = (2k + 1)p$ en in het doorgelaten licht voor waarden $d = 2kp$, als d de veranderlijke dikte van de luchtlaag tussen den bollen kant van de lens en de vlakke plaat voorstelt en p de waarde van d, waarvoor de eerste lichte ring in het teruggekaatste licht optreedt. Deze verhoudingen zijn in over-

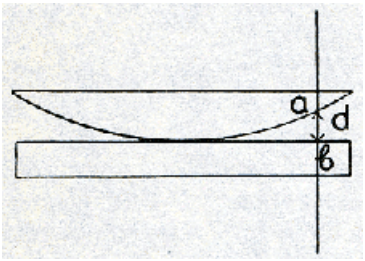


Fig. 47. Verklaring van de ringen van Newton volgens Newton, *Opticks* II.

eenstemming met de verklaring van het verschijnsel dat in de negentiende eeuw met behulp van de trillingstheorie van het licht gegeven zou worden. Newton interpreteert zijn waarneming nu zo, dat de straal bij sommige waarden van d bij b wordt doorgelaten en bij andere wordt teruggekaatst. Het passeren van een brekend oppervlak veroorzaakt dus blijkbaar in den straal zekere disposities, die als vlagen (fits) van gemakkelijke reflexie en van gemakkelijke transmissie kunnen worden betiteld en die elkaar op onderling gelijke afstanden p, het vlageninterval, afwisselen.

Het is nu voor het juiste begrip van Newtons denkwijze van belang op te merken, dat het optreden van deze vlagen in zijn oog geen hypothese is, maar een empirisch vastgesteld feit van denzelfden graad van zekerheid als dat wit licht uit stralen van verschillende breekbaarheid bestaat. Van een hypothese zou eerst sprake zijn, wanneer men het ontstaan van de vlagen zou willen verklaren. En ‘hypothesen verzin ik niet’ zou hij ook hier hebben kunnen zeggen, om er dan onmiddellijk een op te laten volgen. Hij zegt het eerste niet, maar doet het tweede wel, echter met de opmerking, dat dit alleen gebeurt ter wille van hen die slechts waarde hechten aan een nieuwe ontdekking wanneer zij deze door hypothesen kunnen verklaren. Wie zo denken moeten zich dan maar voorstellen[167], dat wanneer het licht bij a het brekend oppervlak passeert, er in de lucht een trilling wordt opgewekt, die zich sneller voortplant dan de straal en de verschillende delen hiervan dus inhaalt. Overal waar de

trillingsrichting in de (longitudinaal gedachte golf) samenvalt met de richting waarin de straal zich voortplant, bestaat een vlaag van gemakkelijke doorlating; waar zij er aan tegengesteld is, een vlaag van gemakkelijke terugkaatsing. Het vlageninterval is dus hetzelfde als wat men later de halve golflengte zou noemen.

Het is moeilijk in te zien, dat door deze hypothese verklaard kan worden, dat er steeds op de afstanden 2*p*, 4*p*, 6*p* enz. vlagen van gemakkelijke doorlating en op de afstanden *p*, 3*p*, 5*p* enz. vlagen van gemakkelijke terugkaatsing liggen; immers als de lopende golf er langs strijkt, wisselen de phasen o en ½, die opv. de vlagen van de ene en de andere soort bepalen, in ieder punt elkaar gestadig af, zodat de vlagen niet vast kunnen blijven liggen.

Maar dit doet eigenlijk helemaal niet ter zake, want na zijn hypothese ontwikkeld te hebben, verklaart Newton, dat hij niet na zal gaan of ze al dan niet juist is. Hij wil zich tevreden stellen met het blote feit (zo noemt hij het), dat in lichtstralen door een of andere oorzaak afwisselend de beschreven disposities voorkomen.

322. Dit ene voorbeeld is typerend voor den geest waarin een groot deel van de *Opticks* geschreven is: naast een zeer omvangrijk feitenmateriaal, dat op uiterst zorgvuldige waarneming gebaseerd is, vindt men een overvloed van vaak tamelijk phantastische verklaringshypothesen, die men echter volgens de eigen uitlatingen van den schrijver mag nemen voor wat ze waard zijn en waaraan hij zelf geen andere waarde hecht dan die van denkbaarheden. De grote vindingrijkheid die hij daarbij aan den dag legt, doet vermoeden, dat het woord *Hypotheses non fingo* een uiting van zelfverloochening is. Hij doet eigenlijk niets liever dan ze wel verzinnen, maar hij dwingt zich er toe het na te laten.

Het zijn niet louter methodische overwegingen, voortvloeiend uit zijn opvatting over de juiste methode van beoefening der natuurwetenschap, die hem tot dit standpunt drijven; in ten minste even hoge mate werken daartoe overwegingen van religieusen aard mee. Evenals Boyle voelt hij zich ernstig verontrust door het veldwinnen van atheïstische stromingen als gevolg van den bloei der mechanistische natuurwetenschap en ook hij beschouwt het als zijn roeping, de bedreigde harmonie tussen geloof en wetenschap te handhaven. In een brief aan Bentley[168], die in een reeks lezingen ter weerlegging van het atheïsme aan de gravitatiewet een argument voor het bestaan van een Schepper had ontleend, spreekt hij het onomwonden uit, dat hem bij het schrijven van de *Principia* als doel voor ogen had gestaan, zijn lezers van dit besef te doordringen en toont hij zich verheugd, dat het werk daartoe dienstig blijkt te zijn. En in de 28e *Query* van de *Opticks* zet hij nader uiteen, hoe de natuurwetenschap, mits op de juiste wijze beoefend niet alleen het geloof niet in den weg staat, maar het zelfs bevordert:

> Het hoofddoel der natuurwetenschap is, van de verschijnselen uit te redeneren zonder hypothesen te verzinnen, en oorzaken af te leiden uit effecten, tot we bij de allereerste Oorzaak komen, die zeker niet mechanisch van aard is; en niet alleen het mechanisme der wereld te ontvouwen, maar vooral vragen als de volgende op te lossen: Wat is er op plaatsen die bijna vrij van materie zijn en hoe komt het, dat de zon en de planeten zonder dichte materie er tussen naar elkander toe graviteren? Hoe komt het, dat de Natuur niets te vergeefs doet en waaruit komt al die orde en schoonheid voort die we in de wereld zien? Waarvoor dienen de kometen en hoe komt het, dat alle planeten in een en denzelfden zin in concentrische banen lopen; en wat belet de vaste sterren op elkaar te vallen? Waardoor zijn de lichamen der levende wezens zo kunstig ineengezet en voor welke doeleinden zijn hun verschillende delen bestemd? Is het oog geconstrueerd zonder bedrevenheid in de optica en het oor zonder kennis van geluiden? Hoe volgen de bewegingen van het lichaam uit den wil en waar komt het instinct in de dieren vandaan?... En wanneer al deze dingen op de juiste wijze beschouwd worden, blijkt dan niet uit de verschijnselen, dat er een onstoffelijk, levend, intelligent alomtegenwoordig Wezen is, dat in de oneindige ruimte, als ware deze zijn zintuiglijkheid (sensorium), de dingen zelf van binnen uit ziet en door en door opmerkt en ze volkomen begrijpt doordat ze onmiddellijk in Hem tegenwoordig zijn, terwijl door onze zinsorganen slechts beelden van deze dingen naar onze kleine zintuiglijkheden worden geleid, die daar worden gezien en beschouwd door wat in ons waarneemt en denkt? En hoewel niet iedere ware stap die in deze philosophie gedaan wordt, ons onmiddellijk tot de kennis van de Eerste Oorzaak voert, zo brengt ze er ons toch dichter bij en om die reden moet ze zeer hoog worden gesteld.

In deze beschouwing wordt een wezenlijk verband gelegd tussen een voor gelovigen aanvaardbare wijze om de natuurwetenschap te beoefenen en het verzet tegen hypothesen. De polemische strekking ten aanzien van de mechanistische natuurphilosophie is onmiskenbaar: het streven, alle natuurverschijnselen met behulp van bewegingen van materiële deeltjes te verklaren, had van oudsher aanleiding gegeven tot het opstellen van vaak zeer gedurfde verklaringen, waaruit alle finalistische overwegingen waren uitgeschakeld; steeds weer was ook de neiging opgekomen, deze denkwijze uit te breiden buiten het gebied van de verschijnselen waarvoor ze in het leven was geroepen en er een algemeen en absoluut bestaansrecht op het gehele terrein der levens- en bewustzijnsverschijnselen aan te verlenen. Principiële kritiek op deze methode moest hier de meest efficiënte bestrijding vormen van de denkrichting die er zo rijkelijk gebruik van maakte.

323. De sterke invloed dien Newton's religieuse denkbeelden op zijn wetenschappelijk denken hebben uitgeoefend, komt onder meer ook tot uiting in zijn geloof aan het bestaan van een absolute ruimte en een absoluten tijd[169] De eerste beduidt voor hem Gods alomtegenwoordigheid, de tweede Zijn eeuwigdurendheid. Door overal en altijd te bestaan constitueert Hij ruimte en duur. Hij is niet alleen virtueel, d.w.z. door Zijn werking, alom

tegenwoordig, maar ook substantieel. In Zijn eeuwige en alwetende presentie voeren de lichamen absolute bewegingen uit.

324. Men zou nu de vraag kunnen stellen, of wellicht Newton's voorkeur voor de opvatting van kracht als oorzaak inplaats van als gevolg van bewegingen in dezenzelfden gedachtengang haar oorsprong vindt. Tegenover den mechanistischen stoot als enige oorzaak van verandering van bewegingstoestand doet de in haar wezen niet nader bepaalde, op afstand werkende kracht als iets spiritueels, iets animistisch aan, dat in een anti-materialistische natuurphilosophie niet kwalijk schijnt te passen. Toch moet men voorzichtig zijn met de conclusie. Newton moge nog zo sterk ijveren voor een beveiliging van het geloof tegen de gevaren die van de zijde van het mechanicisme als metaphysica dreigen, als physicus staat hij in zo sterke mate onder den invloed van de successen die het als natuurwetenschappelijke methode had behaald, dat hij zich toch ook weer verzet tegen pogingen, hem zulke opvattingen toe te schrijven. Over de actio in distans schrijft hij aan Bentley het volgende[170]:

> Het is ondenkbaar, dat dode materie zonder tussenkomst van iets anders, dat niet materieel is, op andere materie zou kunnen werken en deze zou kunnen beïnvloeden zonder wederzijds contact; zoals ze moet doen wanneer gravitatie in den zin van Epicurus essentieel voor materie is en daaraan inhaerent. En dit is een reden, waarom ik er op gesteld was, dat Gij mij niet het denkbeeld van een ingeboren zwaarte zoudt toeschrijven. Dat zwaarte ingeboren, inhaerent en essentieel voor materie zou zijn, zodat een lichaam op een ander over een afstand door een vacuum heen zou kunnen inwerken zonder de bemiddeling van iets anders, waardoor hun actie en kracht van het ene naar het andere kan worden overgebracht, is voor mij een zo grote absurditeit, dat ik niet geloof, dat iemand die op philosophisch gebied tot oordelen bevoegd is, er ooit in kan vervallen. Zwaarte moet veroorzaakt worden door een agens dat voortdurend volgens zekere wetten werkt; maar of dit agens stoffelijk of onstoffelijk is, heb ik aan mijn lezers ter overweging overgelaten.

Dat was het nu echter juist wat de lezers graag van hem zouden hebben willen horen. Maar hij wil zich blijkbaar niet binden. Enerzijds speelt hij met allerlei aethertheorieën die geheel mechanistisch van aard zijn, maar daarnaast verwerpt hij blijkens zijn boven geciteerde woorden de gedachte aan immateriële agentia, die hij zelf ook eerst scheen uit te sluiten, toch ook niet geheel.

325. Het typeert nu echter weer Newton's gecompliceerde situatie in het natuurwetenschappelijk denken, dat hij op verscheidene plaatsen vrijelijk en zonder nuance van voorbehoud van diezelfde actio in distans, waarvan we hem juist de volstrekte absurditeit hoorden betogen, gebruik maakt. In de optica roept hij haar o.m. te hulp bij de verklaring van de terugkaatsing van het licht, die hij niet opgevat wil zien als het gevolg van de botsing van een straal tegen vaste of ondoordringbare delen van het terug-

kaatsend lichaam, maar door een of ander vermogen van dat lichaam dat gelijkmatig over zijn gehele oppervlak verdeeld is en waardoor het zonder onmiddellijk contact op den straal inwerkt[171]. Op dezelfde wijze worden de breking en de buiging verklaard. En in de laatste *Query* van de *Opticks* vult hij bladzijden achter elkaar met een opsomming van scheikundige reacties, die alle worden toegeschreven aan krachten die de kleine deeltjes van verschillende stoffen op elkaar uitoefenen.

Hij heeft hier zelfs de reserve, die zich in de andere *Queries* uitte door het gebruiken van den vragenden vorm, laten varen en toont een vindingrijkheid in het verzinnen van krachten van allerlei aard, die voor het vernuft van de Cartesianen om telkens weer nieuwe materiesoorten en bewegingswijzen te bedenken, niet in het minst onder doet.

326. In dezelfde *Query* geeft hij ook een algemene schets van zijn wereldbeeld, die met het oog op ons onderwerp onze volle aandacht waard is. Hij noemt het hier[172] waarschijnlijk, dat God in den beginne de materie heeft gevormd in vaste, massieve, ondoordringbare en beweeglijke delen en dat alle veranderingen die in de stoffelijke dingen voorvallen, bestaan in het samenkomen en uiteengaan van deze permanente deeltjes, die in een lege ruimte plaats voor hun bewegingen vinden. Aan deze zuiver atomistische onderstellingen wordt nu echter die van een in de lichamen zetelende vis inertiae toegevoegd, omschreven als een passief principe, waardoor de lichamen volharden in rust en beweging en, in verhouding tot de krachten die er op werken, impuls opnemen. Daarnaast moeten echter nog zekere actieve principes werken, waarvan de gravitatie er een is, terwijl een ander de cohaesie der lichamen teweegbrengt, en een derde, fermentatie genaamd, voor de stoffelijke processen in het levend lichaam zorgt. Wanneer de gravitatie niet werkte, zou de totale impuls der stoffelijke lichamen door wrijving en onelastische botsing geleidelijk afnemen; de drie principes samen voorkomen, dat de wereld eindigt in een staat van koude en onbeweeglijkheid.

Hij verweert zich nu echter zeer beslist tegen de identificatie van deze actieve principes met de occulte qualiteiten der peripatetische physica, waartoe, zoals we reeds zagen, zijn tijdgenoten zo geneigd bleken:

> Ik beschouw deze principes niet als occulte qualiteiten die geacht worden te resulteren uit de specifieke vormen der dingen, maar als algemene natuurwetten, waardoor de dingen zelf worden gevormd en waarvan de waarheid blijkt uit de verschijnselen, hoewel hun oorzaken nog niet ontdekt zijn. Want dit zijn manifeste qualiteiten en alleen hun oorzaken zijn occult. En de Aristotelici gaven den naam van occulte qualiteiten niet aan manifeste qualiteiten, maar alleen aan zulke qualiteiten als zij verborgen dachten in lichamen als onbekende oorzaken van manifeste qualiteiten. Zoals de oorzaken van gravitatie, van magnetische en electrische aantrekkingen en van fermentaties zouden zijn, wanneer wij onderstelden, dat deze krachten en werkingen voortkwamen uit qualiteiten die ons onbekend zijn, en die niet

> ontdekt en manifest gemaakt kunnen worden. Zulke occulte qualiteiten houden den vooruitgang der natuurwetenschap tegen en worden daarom in den laatsten tijd verworpen. Te zeggen, dat iedere soort dingen begiftigd is met een occulte specifieke qualiteit waardoor ze werkt en manifeste effecten voortbrengt, is ons niets zeggen. Maar uit de verschijnselen twee of drie algemene bewegingsprincipes afleiden en ons daarna vertellen, hoe de eigenschappen en werkingen van alle stoffelijke dingen uit deze manifeste principes volgen, zou een zeer belangrijke stap in de natuurwetenschap zijn, ook al waren de oorzaken van deze principes nog niet ontdekt. En daarom aarzel ik niet, de boven genoemde bewegingsprincipes op te stellen, daar zij van zeer algemene strekking zijn, en het opsporen van hun oorzaken over te laten.

327. Newton ziet dus zelf als cardinale verschilpunten tussen zijn eigen methode van natuurwetenschap en de peripatetische vooreerst de herleiding van alle verschijnselen tot de werking van een klein aantal actieve bewegingsprincipes, waarvan de gravitatie een voorbeeld vormt, en vervolgens de hoop of de verwachting, dat de oorzaken van deze principes op den duur ook niet verborgen zullen blijven. Het verwijt, dat de gravitatie een occulte qualiteit zou zijn, wijst hij dus volstrekt af; zoals we boven (IV: 316) reeds zagen is het voor hem geen hypothese, dat de gravitatie bestaat, maar een empirisch vastgesteld feit. En de onbekendheid van haar oorzaak wordt als van slechts tijdelijken aard beschouwd.

Men kan betwijfelen, of de verschilpunten met de peripatetische natuurwetenschap die hij hier opnoemt, wel van zo principiëlen aard zijn als hij het voorstelt: het streven naar een klein aantal verklaringsprincipes is ook aan het Aristotelisme niet vreemd en occulte qualiteiten werden ook niet ingevoerd zonder de hoop, ze nog eens op grond van de samenstelling van de stoffen uit de elementen te begrijpen.

328. Het in de bovenstaande beschouwing opgestelde en door de invoering van het gravitatieprincipe ten dele reeds verwezenlijkte programma van natuuronderzoek beduidde niet zozeer de verzaking van de grondbeginselen der mechanistische natuurphilosophie, die er door vele tijdgenoten in gezien werd, als wel een uitbreiding, die tot voorheen ongekende mogelijkheden van toepassing zou blijken te leiden. Voor wie bereid was, de vroegere primaire qualiteiten met de traagheid aan te vullen en op afstand werkende krachten in afwachting van hun eigen verklaring als verklaringsprincipes te aanvaarden, openden zich vergezichten die voor het orthodoxe mechanicisme van de zeventiende eeuw steeds gesloten zouden zijn gebleven. De physici van de achttiende en negentiende eeuw hebben die bereidheid gaarne getoond en zijn er door een rijken oogst voor beloond.

Het is merkwaardig om te zien hoe spoedig daarbij voorstellingen, die eenmaal bij monde van de grootste physici der zeventiende eeuw als essentieel onmechanistisch waren verworpen, als tot het wezen der mecha-

nistische natuurwetenschap behorend werden beschouwd. De leuze, dat de natuurwetenschap zich in mechanica moet oplossen, werd en wordt in historische uiteenzettingen niet zelden in dezen zin geïnterpreteerd, dat alle natuurverschijnselen moeten worden verklaard met behulp van krachten die door stoffelijke punten op elkander worden uitgeoefend en waarvan de grootte slechts van den afstand dier punten afhangt[173]. Het zou Huygens, hadde hij dergelijke formuleringen kunnen lezen, met oneindige verbazing hebben vervuld, dat dat nu mechanistisch moest heten. Van het ogenblik af echter, dat Newton's denkwijze haar stempel op de physica was gaan drukken, was geen begrip onverbrekelijker met de mechanistische natuurbeschouwing verbonden geraakt dan dat van de op afstand werkende en beweging veroorzakende kracht. Voor het materialisme van de achttiende en negentiende eeuw waren niet langer als voor dat van de zeventiende stof en beweging, maar stof en kracht de onafscheidelijk bijeenhorende grondcategorieën, die de verklaring van al het zijnde geacht werden te kunnen leveren.

329. Hoewel dus het strenge mechanicisme der zeventiende eeuw zijn hoogtepunt had bereikt in Huygens, moet Newton in de allereerste plaats als de grondlegger van het mechanistisch wereldbeeld der klassieke physica worden beschouwd, omdat eerst de uitbreiding en vervorming die hij aan de grondgedachte van deze natuurphilosophie gegeven heeft, haar grote ontplooiing mogelijk heeft gemaakt. Dat die ontplooiing zich helemaal niet voltrokken heeft in den geest waarin hij gehoopt had haar te zullen zien verlopen, zal na wat we boven over zijn religieuse denkbeelden en de apologetische bedoeling van de *Principia* gezegd hebben, wel niet meer betoogd behoeven te worden. Niets heeft in de achttiende eeuw zo zeer bijgedragen tot de onderlinge vervreemding van geloof en wetenschap als de ontwikkeling van de mechanica der hemellichamen, die de schoonste vrucht is van de door Newton gegrondveste en als steun voor het geloof bedoelde natuurwetenschap. Er is geen schrijnender contrast tussen een denkbeeld en zijn uitwerking denkbaar dan de tegenstelling tussen Newton's overtuiging, dat de orde in het planetenstelsel een onweerlegbaar bewijs vormt voor het bestaan van een intelligente Eerste Oorzaak en het antwoord, dat de auteur van de *Mécanique Céleste* Laplace, volgens de overlevering aan Napoleon zou hebben gegeven toen deze hem vroeg waarom hij in zijn werk nergens den Schepper vermeld had: Sire, je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là.

330. In Newton zelf openbaart zich de moeilijkheid om een consequente mechanistische natuurphilosophie (zelfs in den verruimden zin dien hij er aan had leren hechten) harmonisch te verenigen met het geloof in een God die de wereld niet alleen geschapen heeft, maar haar ook voortdurend onderhoudt, reeds onmiskenbaar duidelijk. Hoe vollediger hij er in slaagt, de natuurverschijnselen te verklaren uit de werking van natuurkrachten die volgens vaste en onverbrekelijke wetten werken, des te moei-

lijker wordt het voor hem, om voor den Schepper der wereld ook een functie als Onderhouder van het stoffelijk heelal te vinden. Hij doet een zwakke poging, de onmisbaarheid van Zijn voortdurende medewerking voor het voorkomen en herstellen van storingen en onregelmatigheden van de wereldmachinerie aan te tonen, maar haalt zich daarmee slechts de spottende vraag van Leibniz op den hals, of de almachtige Schepper dan een onvolmaakte machinerie heeft afgeleverd[174]. De mechanisering van het wereldbeeld leidde met onweerstaanbare consequentie tot de opvatting van God als ingenieur-in-ruste en vandaar tot Zijn volledige uitschakeling was het nog slechts een stap. Voor natuuronderzoekers die desondanks hun geloof wilden behouden, bestond er nauwelijks een andere mogelijkheid dan het streng van de natuurwetenschap gescheiden te houden; wilden zij beider uitspraken combineren, dan liepen zij gevaar de prooi te worden van onophoudelijke conflicten tussen twee levenswaarden die hun in gelijke mate, maar om geheel verschillende redenen, dierbaar waren.

Eindnoten:

1 Dijksterhuis (6).
2 Dijksterhuis (1).
3 Huygens, *De iis quae liquido supernatant*. Oeuvres XI 81-210.
4 Kepler, *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*. (2) IV 281.
5 Kepler, *Paralipomena ad Vitellionem sive Astronomiae Pars Optica*. (2) II.
6 Kepler, *Dioptrice*. (2) IV 329-415.
7 De Waard (1) 3.
8 Descartes, *La Dioptrique. Discours* II. Oeuvres VI 99.
9 Crommelin.
10 Gilbert, Zilsel (4).
11 Gilbert, *Praefatio*, slot.
12 *The newe Attractive contayning a short discourse of the Magnes or Lodestone*. Zilsel (4). Het werk is nog herhaaldelijk herdrukt. Een moderne editie verzorgde G. Hellmann in *Rara Magnetica*, 1898.
13 Zilsel (4).
14 Gilbert II, c. 4.
15 Gilbert V, c. 12.
16 Cusanus, *Idiota de Sapientia*. (3) I.
17 Gilbert I, c. 7.
18 Gilbert V, c. 12.
19 Gilbert II, c. 2.
20 Galilei, *Dialogo* III. Ed. Naz. VII 426 vlg.
21 Kepler, *Astronomia nova* (3) III 25. Zie ook c. 34.
22 Frost, Lasswitz, Liebig.
23 Koyré (1) I 6, n. 4.
24 More (2) 191.
25 Liebig.
26 Francis Bacon, *De Augmentis Scientiarum* I. Works I 458. Uitgewerkt N.O. I 84. Works I 190. *Cogitata et Visa*. Works III 611.
27 Francis Bacon, N.O. I 3, 129. Works I, 157, 222.
28 Francis Bacon, N.O. II 2. Works I 228.
29 Francis Bacon, *Redargutio Philosophiarum*. Works III 583.
30 Francis Bacon, N.O. I 38-44, 52, 53, 58-62. Works I.
31 Francis Bacon, *Instauratio magna. Distributio Operis*. Works I 145.
32 Francis Bacon, *Instauratio magna. Praefatio*. Works I 131.
33 Francis Bacon, *Instauratio magna. Praefatio*. Works I 133. N.O. I 58. Works I 179.

34 Francis Bacon, N.O. I 2. Works I 157. *Instauratio magna. Praefatio*. Works I 129.
35 Francis Bacon, N.O. I 50. Works I 168. *Instauratio magna. Distributio Operis*. Works I 140.
36 Francis Bacon, N.O. II 11-13. Works I 236 vlg.
37 Ibidem.
38 Francis Bacon, N.O. II 48. Works I 330-349.
39 Francis Bacon, N.O. II 21-52. Works I 268-365.
40 Milhaud 213-227.
41 Huygens, Brief aan Leibniz van 16 November 1691. Oeuvres X 190. Appendia van den brief aan Bayle van 26 Februari 1693. Oeuvres X 404.
42 Kirchmann, *Neues Organon*. Leipzig 1870. Vorrede. Frost 46. Over Copernicus *Descriptio globi intellectualis* c. 6. Works III 737.
43 Francis Bacon, N.O. I 3. Works I 157.
44 Francis Bacon, *Instauratio magna. Distributio Operis*. Works I 141. N.O. I 70. Works I 180.
45 Francis Bacon, *De Augmentis Scientiarum* II, c. 2. Works I 500.
46 Francis Bacon, *Parasceve ad Historiam Naturalem et Experimentalem* V. Works I 399.
47 Francis Bacon, Ibidem. Works I 391 vlg. Engelse vertaling Works IV 251 vlg. Het werk werd in 1620 tesamen met het *Novum Organum* gepubliceerd.
48 Houghton (1).
49 Francis Bacon. Works III 119-166.
50 Florian, Ornstein, Wolf.
51 Dijksterhuis (1) (3), Milhaud, De Vleeschauwer.
52 Descartes, *Les Principes de la Philosophie*. Preface. Oeuvres IX b 14.
53 Galilei, *Dialogo* I. Ed. Naz. VII 128-29.
54 Descartes, *Discours de la Methode* II. Oeuvres VI 17.
55 Leibniz IV 329.
56 Descartes. Oeuvres X 359-469.
57 Dijksterhuis (3).
58 Descartes. Oeuvres VI 367-485.
59 Galilei, *Discorsi* III. Ed. Naz. VIII 197.
60 Huygens, Appendice van den brief aan Bayle van 26 Februari 1693. Oeuvres, X 403.
61 Descartes, Brief van 11 October 1638 aan Mersenne. Oeuvres II 380-402.
62 Descartes, *Principia Philosophiae* II, c. 36. Oeuvres VIII 61.
63 Descartes, *Principia Philosophiae* II, c. 37-40. Oeuvres VIII 62-65.
64 Descartes, *Principia Philosophiae* II, c. 46-52. Oeuvres VIII 68-69.
65 Descartes, *Principia Philosophiae* III en IV. Oeuvres VIII 80-329.
66 Descartes, *Principia Philosophiae* IV, c. 20-27. Oeuvres VIII 212-217.
67 Huygens, *Traité de la Lumière*. Oeuvres XIX 461.
68 Huygens, *De Coronis et Parheliis*. Oeuvres XVII 364-445.
69 Descartes, *Principia Philosophiae* IV, c. 203. Oeuvres VIII 326.
70 Descartes, *Les Météores. Discours* VI, VII. Oeuvres VI 298, 312. Grossmann 200-208.
71 Descartes, *La Dioptrique. Discours* I, II. Oeuvres VI 81-105.
72 Descartes, *Principia Philosophiae* IV, c. 202. Oeuvres VIII 325.
73 Descartes, Brief van eind November 1633 aan Mersenne. Oeuvres I 270-273. Zie ook Adam in Oeuvres XII 165-179.
74 Descartes, *Principia Philosophiae* III, c. 43-47. Oeuvres VIII 99-103. IV, c. 1. Oeuvres VIII 203. IV, c. 204-207. Oeuvres VIII 327-329.
75 Uitvoeriger Milhaud 17-22.
76 Geciteerd uit *La religion de Descartes*, Annales de philosophie chrétienne, 1911, door Lechalas, Revue des Questions scientifiques, (3) XXI (1912) 314.
77 *Vie de Blaise Pascal*. Pascal (1) 11.
78 Meegedeeld door Dirck Rembrandtsz, *Des Aertrycks beweging en der Sonne stilstandt*, geciteerd Oeuvres XII 345a.
79 Descartes, *Regulae ad directionem ingenii* III. Oeuvres X 370.
80 Galilei, *Discorsi* I. Ed. Naz. VIII 54.
81 Galilei, *Il Saggiatore*. Ed. Naz. VI 197-372.
82 Galilei, *Il Saggiatore*, c. 48. Ed. Naz. VI 347 vlg.
83 Ibidem VI 350.
84 Galilei, *Ratio ponderum Librae et Simbellae*. Ed. Naz. VI 486.
85 Frost, Lasswitz, Maier (1).
86 Dijksterhuis (1) 358-373.
87 Hobbes, *De corpore*, Pars IV. *Physica, sive Naturae Phaenomena*. c. 29, 17. Opera I 249-250.
88 Pascal, Pensées 79. (1) 361.
89 Maier (1).
90 Huygens, Brief aan Morus van 5 Februari 1649. Oeuvres V 269. Brief aan Morus van 15 April 1649. Oeuvres V 342.
91 Brief van Papin aan Huygens van 18 Juni 1690. Huygens, Oeuvres IX 429.

92 Huygens, Brief aan Papin van 2 September 1690. Oeuvres IX 484.
93 Boyle, Hooykaas (1) (4), van Melsen, More (2).
94 Boyle, *The Sceptical Chymist*. Works I 474-586.
95 Boyle, *The Sceptical Chymist*. Works I 505.
96 Boyle, *The Sceptical Chymist*. Works I 584.
97 Boyle, *The Sceptical Chymist*. Works I 562.
98 Boyle, *The Origin of Forms and Qualities*. Works III 1-137.
99 Boyle, *On the Excellency and Grounds of the Corpuscular or Mechanical Philosophy*. Works IV 68-69.
100 Boyle, *The Origin of Forms and Qualities*. Works III 13.
101 Boyle, *The Origin of Forms and Qualities*. Works III 27 vlg.
102 Van Melsen 165.
103 Hooykaas (5) 102.
104 Van Melsen 165.
105 Boyle, *The Origin of Forms and Qualities*. Works III 37.
106 Hoenen (1) 43.
107 More (2) 214-230.
108 Boyle, *The Origin of Forms and Qualities*. Works III 59-60.
109 More (2) 224.
110 Hooykaas (4).
111 Houghton (2).
112 Boyle, *The Christian Virtuoso*. Works V 508-540.
113 Boyle, *A free Inquiry into the received Notion of Nature*. Works V 170.
114 Boyle, *A free Inquiry into the received Notion of Nature*. Works V 158-254.
115 Boyle, *A Disquisition about the Final Causes of Natural Things*. Works V 392-444; 403.
116 Het uurwerk was geconstrueerd door den wiskundige Conrad Rauchfuss (Dasypodius) (1529-1600) met medewerking van de gebroeders Habrecht. Een beschrijving komt voor in *H. Cardani in Claudii Ptolemaei de judiciis commentaria*., Basileae 1578. De vergelijking van het heelal met een uurwerk is zelf al van veel ouderen datum; ze komt reeds voor bij Oresme (Borchert 106, n. 218).
117 Torricelli (1).
118 De Waard (2) 101 vlg.
119 Pascal, *Expériences nouvelles touchant le vide*. (3) 13.
120 Pascal, *Expériences nouvelles touchant le vide*. (3) 11-21.
121 Pascal, *Expériences nouvelles touchant le vide*. (2) II 74. (3) I 20.
122 Pascal, (2) II 82-89.
123 Pascal, *Lettre de Blaise Pascal au père Noèl*. (2) II 90-106. (3) I 22-30.
124 Pascal, *Lettre de Blaise Pascal au père Noël*. (2) II 95. (3) I 25.
125 Pascal, *Pensées* 72. (1) 347.
126 Pascal, *Pensées* 218. (1) 430.
127 Allix 275.
128 Havet, *Pensées de Pascal*. Geciteerd Hatzfeld 190, n. 2.
129 Pascal, *Lettre de Blaise Pascal au père Noël*. (2) II 97. (3) I 26.
130 Pascal, *De la démonstration géométrique*. (1) 169. (3) I 410.
131 Er bestaan van deze proef verschillende varianten, die we hier niet kunnen beschrijven. Men vindt ze: 1) in een brief van Pascal aan Périer. (3) I 51. 2) bij Noël, *Gravitas comparata* (1648). 3) ibidem in een uitvoering van Roberval. 4) bij Pecquet, *Dissertatio anatomica* (1651) in de uitvoering van Auzout. 5) in het *Traité de la pesanteur de la masse de l'air* (3) I 118. 2)-4) geciteerd bij Thirion § XI.
132 Brief van Mersenne aan Constantijn Huygens van 4 Januari 1648. Huygens I 77. Lenoble 434.
133 Descartes, Brief aan Mersenne van 13 December 1647. Oeuvres V 99. Verslag van het onderhoud van Descartes en Pascal door Jaqueline Pascal: Pascal (2) II 42-48.
134 Pascal, *Traités de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air. Conclusion des deux précédents traités*. (2) II 370. (3) I 133.
135 Pascal, (2) III 267.
136 Guericke, Schimank.
137 Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects*. Works I 1 vlg. III 175 vlg. IV 505 vlg.
138 Boyle, *A Defence of the Doctrine touching the Spring and Weight of the Air... against the Objections of Franciscus Linus*. Works I 118 vlg.
139 Huygens, *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI, 445.
140 Huygens, *Son, Lumière etc.* Avertissement général. XIX 351. *Traité de la Lumière*. XIX 472.
141 Huygens, *Traité de la Lumière*. Oeuvres XIX 451-537.
142 Huygens, *Traité de la Lumière*. Oeuvres XIX 474.
143 Huygens, *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI 443-488.
144 Huygens, *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI 456.

145 Ibidem. Oeuvres XXI 460.
146 Ibidem. Oeuvres XXI 453.
147 Ibidem. Oeuvres XXI 446.
148 Huygens, Oeuvres XIX 5, 214, 351.
149 Huygens, *Traité de la Lumière*. Oeuvres XIX 484.
150 Newton (1) (2), Beth.
151 Neumann.
152 Schlick 89 vlg.
153 Einstein-Infeld 8 vlg.
154 Dit is natuurlijk reeds hierom onmogelijk, omdat in dat geval de *mutatio* een andere dimensie zou hebben dan de impuls en er dus niet bij zou kunnen worden opgeteld.
155 Huygens, *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI 461-62.
156 Mach 240.
157 Beth II 59-98.
158 Huygens, Brief van 11 Juli 1687 aan Fatio de Duillier. Oeuvres IX 190.
159 Huygens, Brief van 18 November 1690 aan Leibniz. Oeuvres IX 538.
160 Huygens, *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI 471.
161 Brief van Leibniz aan Huygens van zo Maart 1693. Huygens, Oeuvres X 428.
162 Brief van Leibniz aan Huygens van October 1690. Huygens, Oeuvres IX 523.
163 Huygens, Brief aan Leibniz van 8 Februari 1690. Oeuvres IX 368. Brief aan Leibniz van 24 Augustus 1690. Oeuvres IX 472. *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI 472.
164 Huygens, *Discours de la Cause de la Pesanteur*. Oeuvres XXI 472.
165 Newton (3) (4).
166 Newton, *Opticks*, Book II.
167 Newton, *Opticks*, Book II, Part III, Prop. 12. (4) 280.
168 More (1) 377.
169 Newton, *Principia, Scholium Generale*. (1) 481. (2) 543.
170 More (1) 379.
171 Newton, *Opticks*, Book II, Part III, Prop. 8. (4) 262.
172 Newton, *Opticks*, Book III, Part I, Quest. 31. (4) 400.
173 Helmholtz 6.
174 Leibniz, *Extrait d'une lettre écrite au mois de novembre* 1725. Philosophische Schriften VII 352.

Deel V
Slotbeschouwing

Slotbeschouwing

1. Wij staan thans aan het eind van den weg dien we ons in dit boek hadden voorgesteld te doorlopen. Met het verschijnen van Newton's *Principia* is de periode van overgang uit de antiek-middeleeuwse naar de klassieke natuurwetenschap afgesloten; de mechanisering van het wereldbeeld heeft in beginsel haar beslag gekregen; de studie der natuur ziet zich een doel voor ogen gesteld dat ze twee eeuwen lang als het enig denkbare zal nastreven en dat haar tot grote daden zal inspireren. Thans is het ogenblik gekomen, de vraag die we reeds een enkele maal terloops aanroerden, aan de orde te stellen: wat is de betekenis van de verandering die we zich hebben zien voltrekken; wat hebben we te verstaan onder de mechanisering van de voorstelling die de natuurwetenschap zich van de physische wereld maakt; waaruit bestaat het mechanistisch karakter, dat haar voortaan zal kenmerken; wat beduidt het woord mechanisch, dat van nu af zo kwistig met tal van natuurwetenschappelijke termen - probleem, model, feit, wet, verschijnsel, voorstelling - verbonden zal worden?

Het is waarlijk niet overbodig, dit alles te vragen. Alle termen die met het woord mechanica samenhangen, klinken ieder sedert zijn schooljaren zo vertrouwd in de oren, dat hij nauwelijks behoefte gevoelt, ze nader omschreven te zien en ze worden dan ook gewoonlijk zonder nadere toelichting gebruikt. Dergelijke termen verdienen echter altijd wantrouwen; en inderdaad blijkt bij onderzoek van de wijze, waarop de mechanistische terminologie wordt toegepast, dat achter de bekende klanken menigmaal slechts een vaag begrip schuil gaat en dat de zin, die er aan gehecht wordt, meervoudig is.

2. Een voor de hand liggende interpretatie van alle termen die met het woord mechanica samenhangen, bestaat hierin, dat men teruggaat op de betekenis van μηχανή = werktuig. In het bijzonder moet dan een mechanistisch wereldbeeld worden verstaan als een voorstelling, waarin het physisch heelal gezien wordt als een grote machine, die, eenmaal in beweging gebracht, op grond van haar constructie het werk verricht, waarvoor ze in het leven is geroepen. Het lijdt geen twijfel, of deze opvatting is, zowel in de periode van voorbereiding van de klassieke natuurwetenschap, die ons in dit boek heeft beziggehouden, als in de tijden van haar verdere ontwikkeling door verscheidene denkers aangehangen; we behoeven slechts te herinneren aan de vergelijking van de stoffelijke wereld met een kunstig uurwerk, die men telkens weer in natuurphilosophische beschouwingen aantreft (IV: 259) of aan Newton's gedachte, dat de Schepper van tijd tot tijd in het verloop der stoffelijke processen moet ingrijpen om te voorkomen, dat de goede gang van zaken door storingen bedreigd zou worden (IV: 330). Even onbetwijfelbaar als het voorkomen van deze zienswijze is echter het feit van haar onverenigbaarheid met de grondgedachte van het oorspronkelijke atomisme, dat alle processen die

zich in de wereld afspelen, in wezen bestaan in volstrekt ongeregelde, aan het pure toeval onderworpen bewegingen van onveranderlijke kleine deeltjes. Een machine toch onderstelt een bewusten en intelligenten maker, die haar geconstrueerd heeft en laat werken om een zeker doel te verwezenlijken. Men kan nauwelijks een voorstelling noemen die meer van deze afwijkt dan de wereldbeschouwing van het Demokritisch atomisme. Vraagt men nu echter, welke van deze twee de klassieke natuurwetenschap in feite steeds beheerst heeft, dan is het wel duidelijk, dat de eerste dit zeker niet heeft gedaan: de natuurwetenschap als zodanig heeft noch aan een bovenwereldlijken Maker van het Heelal noch aan een buitenwereldlijk doel, dat Hij door zijn schepping zou willen nastreven, ooit enige aandacht besteed en het machinebeeld heeft er ten hoogste toe mede gewerkt, om de wegens haar oorsprong voor het religieuse bewustzijn altijd enigszins suspecte corpusculairtheoretische beschouwingswijze van de natuur voor Christelijke denkers aannemelijk te maken; de klassieke natuurwetenschap als zodanig kan echter bezwaarlijk worden gekarakteriseerd door een voorstelling van het Heelal die ze noch ooit als de hare heeft erkend noch in haar werk ooit tot uiting heeft gebracht.

3. Nu is het waar, dat men deze onthouding aan een wijze zelfbeperking zou kunnen toeschrijven, aan het inzicht, dat de Schepper te ver boven het menselijk denken verheven is, dan dat dit Hem uit Zijn werk zelfs maar ten dele zou kunnen leren kennen en dat het den Christen niet past, zich over het doel, dat Hij met deze wereld kan hebben, een voorstelling te vormen, laat staan zich er een oordeel over aan te matigen. Maar wanneer het machinebeeld inderdaad een wezenlijken trek van het denken der klassieke natuurwetenschap weergaf, zou men toch mogen verwachten, dat daarin althans partiële finalistische beschouwingen een belangrijke plaats zouden innemen. Wie immers bij de bestudering van een machine zich alleen maar afvraagt, door welke oorzaak een zeker onderdeel bewogen wordt, maar zich niet verdiept in het onmiddellijke doel, dat met die beweging beoogd wordt, beschouwt haar niet in haar hoedanigheid van machine, maar als een willekeurig mechanisch systeem. Dat is nu echter juist wat de klassieke natuurwetenschap in den regel gedaan heeft en waar ze van die gewoonte is afgeweken en principes heeft geformuleerd die een teleologisch karakter vertonen, is juist altijd de teleologische interpretatie van de opgemerkte wettelijkheid zelf het zwakke punt gebleven.

Men kan, binnen de periode die in dit boek aan de orde is gesteld, aan het door Fermat uitgesproken principe[1] denken, dat een lichtstraal die, van een punt *A* in een medium met een zekeren brekingsindex uit, een punt *B* in een medium met een anderen brekingsindex bereikt, van alle geometrisch denkbare wegen juist dien enen volgt, waarlangs hij in den kortst mogelijken tijd van *A* naar *B* komt, of, even de tijdsgrenzen van ons onderwerp overschrijdend, aan het befaamde principe van de Kleinste Actie, waarin zijn opsteller Maupertuis een direct bewijs voor het bestaan

van een wijzen Schepper en Bestuurder der wereld heeft willen zien[2]. Als natuurkundige denkmiddelen waren zij, evenals de latere extremaalprincipes der mechanica, belangrijk genoeg, maar alle pogingen, ze in finalistischen zin te interpreteren, zijn reeds dadelijk afgestuit op de skeptische tegenwerping, of de Almacht van den Schepper bepaald behoefte heeft, alles zo zuinig mogelijk te doen en ze werden volkomen gefnuikt toen Leibniz vaststelde, dat het extremum, aan het bestaan waarvan zulk een belangrijke betekenis gehecht werd, niet bepaald een minimum behoeft te. zijn maar evengoed een maximum kan blijken, waarmee aan alle beschouwingen over de oeconomische inrichting van den wereldbouw de grondslag ontnomen werd[3].

4. Dat de beschouwing van het Heelal als een machine van goddelijken oorsprong in de ontwikkeling der klassieke natuurwetenschap geen wezenlijke functie vervuld heeft, betekent nog niet, dat de term mechanistisch in het geheel niets met het machine-begrip te maken zou hebben. Er heeft ten allen tijde bij verscheidene physici, en wel in het bijzonder bij de Engelse, een sterke behoefte bestaan, zich het physisch reële achter de verschijnselen, de niet rechtstreeks waarneembare oorzaak van het zintuiglijk ervaarbare, in zo concreet mogelijken vorm voor te stellen; zij zochten steeds naar verborgen mechanismen en namen daarbij, zonder zich over deze onderstelling zorgen te maken, aan, dat deze in wezen van dezelfde soort zouden zijn als de eenvoudige werktuigen die de mens reeds sedert onheugelijke tijden ter verlichting van zijn arbeid gebruikt heeft, zodat een kundig mécaniciën in staat zou zijn, het reële verloop van de gebeurtenissen die zich in de mikrowereld afspelen, door een mechanisch model in makro-afmetingen na te bootsen. Het hierop gerichte streven is en wordt vaak als het eigenlijke kenmerk van de klassieke natuurwetenschap en als de ware motivering van de karakteristiek mechanistisch beschouwd.

Het waren echter niet steeds bestaande eenvoudige werktuigen, als katrollen, hefbomen en tandraderen, die ter verduidelijking van het verborgen natuurmechanisme werden gebruikt, maar ook alom bekende bewegingsverschijnselen in de makrowereld, die, zonder aan de praktijk van het leven dienstbaar gemaakt te worden, zich door opzettelijk daartoe geconstrueerde toestellen in het leven lieten roepen. Twee voorbeelden liggen voor de hand: de botsing, die van oudsher in alle atomistische theorieën een belangrijke plaats had ingenomen en die in het strenge mechanicisme der 17e eeuw zelfs tot het prototype van alle krachtwerking verheven is; en de wervelbeweging, die speciaal in de Cartesiaanse physica bij voorkeur als verklaringsprincipe is gebruikt. Door ook op de aanschouwelijke voorstellingen die met dergelijke bewegingen opereren, den term mechanistisch toe te passen en van een mechanisch model te spreken, wanneer een natuurverschijnsel met hun hulp verklaard werd, maakte men echter het verband met het grondbegrip werktuig wel veel losser;

de ware betekenis van het mechanistische werd nu in de aanschouwelijkheid gezocht, maar kwam daardoor te delen in de vaagheid en het subjectieve karakter die aan dit begrip eigen zijn. En toen men in den loop van de ontwikkeling der klassieke natuurwetenschap er toe kwam, in het krachtbegrip van Newton, dat door physici als Huygens en Leibniz, die toch de geschetste ruime opvatting van den term mechanistisch aanhingen, als essentieel onmechanisch verworpen was, nu juist den meest typerenden trek van een mechanistische natuurbeschouwing te zien, bleef van het verband met de oorspronkelijke betekenis van μηχανή eigenlijk niets meer over. Toestellen te bouwen, waarin stoffelijke voorwerpen zich bewegen tengevolge van hun wederzijdse gravitatie, vermag ook de kundigste mecaniciën niet, terwijl men toch de verklaring van de planetenbeweging met behulp van gravitatie steeds onbekommerd mechanistisch is blijven noemen.

5. De verschillende betekenissen van het woord mechanistisch die we tot dusver hebben leren onderscheiden, stonden alle in een nauwer of ruimer verband met de positieve kenmerken van het begrip werktuig of machine. We komen tot een andere opvatting door op een negatief kenmerk te letten, op het levenloze dat aan een machine eigen is, het onvermogen uit eigen kracht te functioneren, de noodzaak, van buiten af in beweging te worden gebracht en gehouden. Zo beschouwd is mechanistisch een tegenstelling tot animistisch; het wezenlijke van de vervanging van de Aristotelische door de klassieke physica wordt dan gezien in de verwerping van ieder inwendig principe van verandering, dat, zo het al niet als symptoom van leven wordt geïnterpreteerd, toch in ieder geval als daarmee verwant gevoeld wordt, en in de toeschrijving van alle bewegingen aan inwerking van buiten af. Het blijkt echter bij nadere beschouwing in de practijk wel heel moeilijk te zijn, met behulp van dit kriterium natuurwetenschappelijke theorieën op hun mechanistisch karakter te toetsen. Immers de Aristotelische worptheorie vereiste de voortdurende inwerking van een *vis a tergo*, een van buiten af het projectum voortdrijvende kracht, terwijl inertie, dit grondbegrip der klassieke physica, zich ongedwongen als een inwendig bewegingsprincipe en als een analogon van een psychisch vermogen laat interpreteren. En in ieder geval bezit de omschrijving van mechanistisch als niet-animistisch veel te weinig inhoud om er het zeer uitgesproken karakter der klassieke natuurwetenschap door aan te duiden.

6. Er blijft nu echter nog een mogelijkheid van interpretatie over, die niet onderhevig lijkt te zijn aan de bezwaren die we tegen de tot dusver beschouwde uitleggingen moesten inbrengen. Zij bestaat hierin, dat men ‘mechanistisch’ omschrijft als ‘met behulp van de begrippen der mechanica’, waarbij dan, zolang het over klassieke physica gaat, mechanica moet worden verstaan als de leer van de bewegingen van stoffelijke lichamen volgens het stelsel van Newton.

Het kan bij een eerste beschouwing wellicht den schijn hebben, alsof een verklaring van den term mechanistisch met behulp van het begrip mechanica niet veel tot een juister inzicht in het wezen der klassieke natuurwetenschap zal kunnen bijdragen, ja dat men door haar te geven, zelfs in een cirkel ronddraait en toch weer bij het oorspronkelijke machinebeeld terecht komt. Dat dit echter niet meer dan een schijn is, wordt duidelijk, wanneer men bedenkt, dat de wetenschap die mechanica heet, zich reeds in de zeventiende eeuw geheel heeft geëmancipeerd van haar oorsprong in de bestudering van werktuigen en zich tot een zelfstandigen tak der mathematische physica heeft ontwikkeld, die de beweging van stoffelijke lichamen tot haar object heeft en in de leer der werktuigen slechts een van haar vele practische toepassingen vindt. Wanneer ze haar historischen naam tijdig had laten varen en zich kinetica genoemd had, zou veel misverstand vermeden hebben kunnen worden en zou onder meer de Nederlandse vertaling werktuigkunde, die men er te kwader ure voor heeft: ingevoerd, achterwege zijn gebleven.

In het bijzonder zouden dan ook niet al de minder gunstige associaties zijn gerezen, die de juiste beoordeling van de waarde - en wel in de eerste plaats de geestelijke waarde - der klassieke natuurwetenschap zo vaak in den weg hebben gestaan en die speciaal in onzen tijd den overgang van de klassieke naar de moderne natuurwetenschap zo vaak in een verkeerd daglicht stellen. Het woord mechanisch immers - we wezen er reeds op in de voetnoot van I: 1 - heeft ook, en zelfs in de eerste plaats, de betekenis van werktuiglijk of gedachteloos; het laat zich met betreurenswaardige gemakkelijkheid met andere minder gunstig klinkende termen verbinden - grof-mechanisch is een gangbare uitdrukking - en het schept daardoor een geestelijke atmospheer die licht tot een emotionele argumentatie verleidt. De term mechanistisch, dien we er om deze reden consequent voor in de plaats hebben gesteld, is aan die bezwaren ongetwijfeld in geringere mate onderhevig, maar ook zij lijdt onder de associatie met de dode machine en met het machinale.

7. Uit het inzicht, dat de etymologie van het woord mechanica niets meer kan bijdragen tot verheldering van de betekenis, die het zelf bezit en aan afgeleide termen verleent, vloeit de noodzaak voort, het door dit woord aangeduide begrip nader te verduidelijken. We deden dit ten dele reeds boven: mechanica is bewegingsleer van stoffelijke lichamen. Maar daarmee is noch zij zelf noch de natuurwetenschap die op baar gebaseerd is, reeds voldoende omschreven. Beweging was immers ook het grondbegrip van de peripatetische natuurwetenschap en het proces, dat we als mechanisering van het wereldbeeld plegen aan te duiden, kan dus niet worden gekarakteriseerd door alleen te zeggen, dat het kinetische beschouwingen op den voorgrond bracht.

Die karakterisering wordt eerst volledig gegeven en het ware contrast tussen klassieke en middeleeuwse natuurwetenschap eerst volkomen

duidelijk gemaakt, wanneer men in de omschrijving van mechanica als bewegingsleer nog het kenmerk van de mathematische behandeling opneemt en dit nader bepaalt door de toevoeging, dat de klassieke mechanica niet slechts mathematisch is in dien zin, dat zij zich van de hulpmiddelen der wiskunde bedient om redeneringen die zich desnoods ook in de gewone omgangstaal zouden kunnen laten uitdrukken korter en overzichtelijker weer te geven, maar in dezen veel stringenteren, dat haar fundamentele begrippen mathematische begrippen zijn, dat zij zelf een wiskunde is. Eerst hierdoor wordt namelijk het kardinale verschilpunt met de middeleeuwse physica aangegeven; want ook deze bediende zich, zoals we gezien hebben, in een bepaald stadium van haar ontwikkeling, met voorliefde van mathematische methoden, maar het is slechts een enkele van haar vertegenwoordigers, met name Oresme geweest, die, vooruitlopend op wat Galilei als beginsel zou formuleren, de mathesis als taal der physica heeft trachten te gebruiken (II: 125-131).

8. Eerst de zeventiende eeuw leert geleidelijk den inhoud en de draagwijdte van dit beginsel beseffen. Kepler zoekt naar de mathematische harmonie, die volgens zijn diepste overtuiging in het planetenstelsel moet bestaan en laat als blijvende vrucht van zijn speculaties de kinematica van de planetenbeweging na, waarvan dan Galilei het aards pendant schept door zijn behandeling van val en worp. Weldra dringt het streven naar mathematisering ook op dynamisch gebied door: Descartes overdrijft het waar hij physica en geometrie eenvoudig wil identificeren, maar dank zij zijn werk verwerft het impulsbegrip de blijvende plaats in de natuurwetenschap die de terministische impetus reeds had trachten te veroveren. Door aan het axioma van Torricelli een nieuwen en voorheen onvermoeden inhoud te schenken, voert Huygens het aequivalent van het begrip mechanische energie als mathematisch gedefinieerde grootheid in. Het door Kepler voorvoelde en door Newton definitief geformuleerde krachtbegrip der klassieke dynamica schijnt zich dan echter wel tegen mathematisering te verzetten; het schijnt zich alleen in berekeningen te laten gebruiken zonder echter zelf voor een mathematische definitie vatbaar te zijn: opgevat als onbekende oorzaak van een versnelling lijdt het aan een vaagheid van bepaling, die scherp afsteekt tegen de exactheid van de definities van de andere grondbegrippen der mechanica. Maar bij de verdere ontwikkeling der klassieke physica kon het niet lang verborgen blijven, dat deze metaphysische terminologie slechts een onwezenlijke uiterlijkheid vormt en niet meer beduidt dan een herinnering aan den psychologischen oorsprong van het krachtbegrip. Het bleek mogelijk, kracht te definiëren als het product van een versnelling (een zuiver kinematische grootheid) en een massa (een empirisch vast te stellen, voor een gegeven stoffelijk lichaam karakteristieke coëfficiënt) en het zodoende ook geheel in de spheer der mathematische natuurwetenschap op te nemen. En hiermee was dan in beginsel de taal geschapen, die nodig was

en bijna twee eeuwen lang ook toereikend zou blijken, om den gansen rijkdom aan physische ervaring dien het zich ontwikkelend experimentele natuuronderzoek aan het licht bracht, te verstelselen en daardoor te beschrijven.

9. Dat deze taal in den vorm dien Newton er aan gegeven had, niet steeds toereikend is gebleven, maar zelf uitbreiding, verfijning en zelfs principiële hervorming behoefd heeft, kan achteraf nauwelijks verwonderen. Het bleek met name, dat zij niet in staat was, de verschijnselen te beschrijven, wanneer het om veel kleinere massa's en om veel grotere snelheden gaat dan de dagelijkse ervaring leert kennen. Echter heeft de hervorming die zij in onzen tijd heeft moeten ondergaan, om haar ook tot het vervullen van die taak bekwaam te maken, het beginsel waarop haar toepassing in de natuurwetenschap gebaseerd is, onveranderd gelaten. Het doel der theoretische natuurwetenschap is bij den overgang van de klassieke tot de moderne physica evenmin gewijzigd als haar methode[4].

Daarom staat de klassieke natuurwetenschap tot de moderne in een gans andere relatie dan tot de antieke. Terwijl zij deze op belangrijke punten heeft moeten verloochenen en zich menigmaal door strijd van haar heeft moeten losmaken, leeft zij in gene als eerste en voor grote gebieden zelfs voldoend nauwkeurige benadering voort. De vakterminologie brengt dit nauwe verband tot uiting door den term mechanica te handhaven: relativiteits- en quantummechanica vormen de grondslagen van het moderne wereldbeeld, zoals de mechanica van Newton het voor de klassieke natuurwetenschap is en blijven zal. In dien zin kan men zeggen, dat de natuurwetenschap mechanistisch, het wereldbeeld gemechaniseerd gebleven is.

Men vermijdt ongetwijfeld misverstand door dit niet te doen en als typerenden trek van de moderne natuurwetenschap het kenmerk der mathematisering te noemen. Maar men zou nieuw en ernstiger misverstand wekken, indien men het voorstelde, alsof mechanisering en mathematisering tegenstellingen zijn, waarvan de eerste het kenmerkend nieuwe van de klassieke, het tweede dat van de moderne natuurwetenschap zou uitdrukken. Een alom bekend geworden uitlating van Jeans[5]: ‘The Great Architect of the Universe now begins to appear as a pure mathematician’, heeft er veel toe bijgedragen, deze voorstelling in stand te houden. Beschouwingen over het meer geestelijk element, waardoor de moderne natuurwetenschap zich van de klassieke zou onderscheiden[6], hebben in dezelfde richting gewerkt. In feite is echter de Schepper van oudsher door natuuronderzoekers van de Platonische richting als een wiskundige beschouwd: men kan aan Plato's uitspraak ὁ θέος ἀει γεωμετρεῖ denken en aan menige uitlating van Kepler, waarin hij als zijn overtuiging uitspreekt, dat de schepping naar mathematische gezichtspunten heeft plaats gehad[7].

Losgemaakt uit de theologische inkleding beduidt dit niet anders dan

dat de natuur in mathematische taal beschreven moet worden en dat ze voor den mens juist zover begrijpelijk is als hij haar werking in zijn mathematisch denken kan volgen. Dat dit inzicht echter de vrucht is die de klassieke natuurwetenschap in den loop van haar ontwikkeling tot rijpheid zou brengen, kan uit de bovenstaande bladzijden overvloedig duidelijk zijn geworden.

Hierdoor wordt tevens begrijpelijk, hoe het mogelijk is, dat ondanks de volstrekte omwenteling in het natuurwetenschappelijk denken, waarover in kringen die met de daadwerkelijke beoefening der physica slechts zeer uit de verte contact houden, met zoveel voldoening pleegt te worden gesproken, de physici zelf zich zo gemakkelijk en geleidelijk aan de nieuwe denkbeelden hebben aangepast, veel gemakkelijker en geleidelijker dan toen het er in de zestiende en zeventiende eeuw om ging, de Aristotelische natuurwetenschap door de klassieke te vervangen. De grote klove gaapt immers tussen deze beide laatste, niet tussen de klassieke en de moderne. Toen moest er een gans nieuw standpunt ten aanzien van de natuur worden veroverd: het substantiële denken, dat naar het wezen der dingen vroeg, moest worden verruild voor het functionele, dat de gedragingen der dingen in hun onderlinge afhankelijkheid wil vaststellen, de behandeling der natuurverschijnselen in woorden worden opgegeven voor een mathematische formulering van de daarin waargenomen relaties. In onze eeuw echter bleef het functionele denken met zijn essentiëlen, mathematischen uitdrukkingsvorm niet alleen gehandhaafd, maar verkreeg het eerst ten volle de heerschappij; de physica bleef het verloop der gebeurtenissen voorstellen door mathematische vergelijkingen; ze heeft alleen andere voorschriften moeten geven voor de wijze waarop de in die vergelijkingen optredende mathematische symbolen met de resultaten van physische metingen in verband moeten worden gebracht.

En zo kunnen we dan, aan het einde van dit boek gekomen, een stellig antwoord geven op de vraag die in de inleidende beschouwingen als het eigenlijke te behandelen probleem gesteld werd:

De mechanisering, die het wereldbeeld bij den overgang van antieke naar klassieke natuurwetenschap heeft ondergaan, heeft bestaan in de invoering van een natuurbeschrijving met behulp van de mathematische begrippen der klassieke mechanica; zij beduidt het begin van de mathematisering der natuurwetenschap, die in de physica der twintigste eeuw haar voltooiing krijgt.

Eindnoten:

1 Fermat, *Synthesis ad Refractiones*. Oeuvres I 173.
2 Maupertuis, *Essai de Cosmologie*. Oeuvres I 74.
3 Bewijsplaatsen bij Kneser.
4 Wij sluiten ons hier en in het volgende aan bij de zeer verhelderende beschouwingen van Ph. Frank.
5 Jeans 122. De beschouwingen, waardoor de schrijver het verschil tussen de positie der wiskunde in de klassieke en in de moderne natuurwetenschap nader tracht te verduidelijken, zijn niet overtuigend. Dat concepties der zuivere wiskunde lang na hun ontstaan toepassing in de mathematische natuurwetenschap vinden, is een verschijnsel, dat zich heeft voorgedaan, zolang de natuurwetenschap mathematisch behandeld is en dat dus geenszins typerend is voor onzen tijd; men kan bij voorbeeld denken aan de invoering van de ellips als planetenbaan door Kepler en van de parabool als kogelbaan door Galilei; beide krommen waren reeds achttien eeuwen eerder als zuiver mathematische vormen bestudeerd.
6 Frank 7.
7 Kepler, *Mysterium Cosmographicum*. (4) 19, 45. *Harmonice Mundi* (2) VI 104, 105, 475.

Prof. dr K. van Berkel
Nawoord bij de zesde druk

Met *De mechanisering van het wereldbeeld* heeft E.J. Dijksterhuis een boek geschreven dat zonder meer tot de klassieke werken uit de Nederlandse wetenschappelijke literatuur kan worden gerekend. Het werd vertaald in het Duits, het Engels en het Italiaans en leverde de schrijver in eigen land in 1952 de P.C. Hooftprijs op. Dat men een werk over de geschiedenis van de natuurwetenschappen bekroonde met de staatsprijs voor de letterkunde is wel iets bijzonders. Men gaf er mee te kennen niet alleen de inhoud te bewonderen, maar ook de vorm waarin Dijksterhuis zijn betoog gegoten had. Wie bijna veertig jaar na het verschijnen van de eerste editie nogmaals de betekenis van dit boek wil bepalen, zal behalve aan de inhoud ook zeker aan de vorm aandacht moeten schenken.

Het verschijnen van *De mechanisering van het wereldbeeld* vormde een keerpunt in de carrière van Dijksterhuis. Jarenlang had hij geijverd voor de erkenning van de wetenschapsgeschiedenis als brug tussen de natuurwetenschappelijke en de literaire cultuur, maar steeds weer had hij moeten merken dat het publiek dat hij met zijn pleitredes bereikte te beperkt was of dat de omstandigheden de uitvoering van zijn plannen in de weg stonden. Pas aan het begin van de jaren vijftig viel hem (en daarmee zijn vak) de publieke erkenning ten deel waarop hij al zo lang recht had. In 1950 werd hij opgenomen in de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, in 1952 kreeg hij de P.C. Hooftprijs en in 1953 zou hij hoogleraar in Utrecht worden.

Dijksterhuis was toen al een man op leeftijd. Hij was in 1892 in Tilburg geboren als zoon van de directeur van de plaatselijke Rijks Hogere Burgerschool ‘Koning Willem II’. Na de HBS te hebben doorlopen en het aanvullend staatsexamen Gymnasium-β te hebben afgelegd, stond hij voor een moeilijke keus. Zou het Grieks worden of toch wiskunde? Uiteindelijk koos hij voor een studie wiskunde in Groningen, maar zijn liefde voor het Grieks heeft hij nooit verloren en als historicus van onder andere de Griekse wiskunde heeft Dijksterhuis beide lievelingsstudies weer weten te verbinden.

In 1918 sloot hij zijn studie af met een promotie over een onderwerp uit de mechanica. Opzienbarend was dat proefschrift allerminst, maar het feit dat het om een onderdeel van de mechanica ging, is in het licht van zijn latere werk niet zonder betekenis. De mechanica is altijd de centrale wetenschap geweest van waaruit Dijksterhuis zijn wetenschapshistorische werk heeft opgebouwd. Zijn eerste grote publikatie was een overzicht van de geschiedenis van de mechanica van Aristoteles tot Newton, *Val en worp* uit 1924, en dit werk kan achteraf beschouwd worden als het skelet waaromheen later *De mechanisering van het wereldbeeld is* geschreven.

In de jaren twintig en dertig hield Dijksterhuis, die inmiddels leraar wiskun-

de aan de Rijks-HBS in Tilburg was geworden, zich voornamelijk bezig met de geschiedenis van de Griekse wiskunde. In 1929-1930 bracht hij een commentaar op de *Elementen* van Euclides uit en in 1938 publiceerde hij een bundeling van detail-studies over Archimedes die eerder in het tijdschrift *Euclides* hadden gestaan. Als privaat-docent voor de geschiedenis van de wiskunde probeerde hij in Amsterdam en Leiden ook studenten voor zijn vakgebied te winnen, maar dat liep op een teleurstelling uit. Zijn streng-wetenschappelijke benadering trok te weinig studenten en na verloop van jaren moest hij beide privaat-docentschappen weer opgeven.

Meer genoegen beleefde Dijksterhuis aan het redacteurschap van het algemeen culturele tijdschrift *De Gids*, waarvoor hij in 1934 door de historicus H.T. Colenbrander gevraagd was. Hij leverde tal van bijdragen aan het tijdschrift en recenseerde zeer veel boeken op wetenschapshistorisch en aanverwant terrein. Nog inniger werd zijn band met *De Gids* toen hij in 1940 Colenbrander als redactie-secretaris opvolgde. Tijdens de moeilijke oorlogsjaren heeft Dijksterhuis het tijdschrift drijvende gehouden, al heeft hij menige concessie moeten doen aan de bezetter en al kreeg het blad door het ontbreken van poëzie en proza van niveau een wel zeer geleerd karakter. Na afloop van de oorlog hebben sommigen hem wel eens kwalijk genomen dat hij ten aanzien van *De Gids* en ook anderszins te lang geprobeerd heeft de normale gang van zaken vol te houden. Een lichtpunt in deze donkere dagen vormde in 1943 de publikatie van Dijksterhuis' biografie van Simon Stevin.

Pas enkele jaren na de oorlog kwam dan eindelijk de publieke waardering die hij verdiende: lid van de Akademie, toekenning van prijzen en medailles en ook internationale aandacht voor zijn werk. In 1953 werd hij benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de geschiedenis van de wiskunde en de natuurwetenschappen in Utrecht, de eerste hoogleraar in Nederland die uitsluitend voor dit vak werd benoemd. In 1955 werd hij voor hetzelfde vak ook als buitengewoon hoogleraar in Leiden benoemd en in 1960 kon hij beide functies omzetten in een ordinariaat in Utrecht. In deze jaren werd Dijksterhuis ook een veelgevraagd redenaar over onderwerpen die verband hielden met de geschiedenis van de natuurwetenschappen. In vergelijking daarmee viel zijn optreden als hoogleraar zelfs wat tegen: zijn colleges waren van hoog niveau, maar trokken weinig studenten en in totaal heeft hij maar drie promovendi gehad.

Het optreden van Dijksterhuis als hoogleraar heeft ook maar kort geduurd. Begin 1959 werd hij getroffen door een beroerte, waarvan hij nooit volledig is hersteld. Hoewel hij zijn colleges in 1960 hervatte, ging zijn gezondheidstoestand geleidelijk achteruit; meer en meer moest hij zich uit het openbare leven terugtrekken Hij is ten slotte op 18 mei 1965 in Bilthoven overleden.

De mechanisering van bet wereldbeeld dankt zijn roem vooral aan het feit dat het een op sublieme wijze geformuleerd overzicht biedt van de geschiedenis van de natuurwetenschap tot en met Newton, de periode waarin uit de antieke wetenschap de moderne natuurwetenschap ontstond. Als overzichtswerk is

het boek ook nog nauwelijks verouderd. Indien de wetenschapsgeschiedenis sinds Dijksterhuis vooruitgang heeft geboekt, komt dat meer doordat men nieuwe vragen aan het verleden heeft gesteld (de sociale geschiedenis van de wetenschap is bijvoorbeeld sterk tot ontwikkeling gekomen) dan doordat er wezenlijk betere antwoorden zouden zijn gevonden op de vragen die ook Dijksterhuis al stelde.

Het boek is echter meer dan een gedegen overzicht van een deel van de geschiedenis van de natuurwetenschap. De sleutel tot een beter begrip van het boek ligt in de vorm waarin Dijksterhuis zijn betoog gepresenteerd heeft. Anders dan men van een wiskundige zou verwachten begint hij niet met een nette definitie van de mechanistische wetenschap, maar stelt hij dat uit tot het allerlaatst. Het boek is eigenlijk geschreven als één lange zoektocht naar de betekenis van het begrip ‘mechanistische wetenschap’, en omdat dat begrip ook nog de discussie over de twintigste-eeuwse natuurwetenschap bepaalt, is het boek in zekere zin een als historisch overzicht ingeklede bepaling van de aard van de eigentijdse wetenschap. Pas in de slotzin van het boek geeft Dijksterhuis de gezochte definitie: ‘De mechanisering, die het wereldbeeld bij den overgang van antieke naar klassieke natuurwetenschap heeft ondergaan, heeft bestaan in de invoering van een natuurbeschrijving met behulp van de mathematische begrippen der klassieke mechanica; zij beduidt het begin van de mathematisering der natuurwetenschap die in de physica der twintigste eeuw haar voltooiing krijgt.’ Cruciaal is in dit citaat het woord ‘mathematisering’. Niet in de constructie van een aanschouwelijk verklaringsmodel, niet in de introductie van een experimentele methode, maar in de invoering van een natuurbeschrijving met behulp van de wiskundige begrippen van de mechanica (bewegingsleer) schuilt het werkelijk nieuwe van de moderne wetenschap. Zoals Dijksterhuis in zijn slotbeschouwing ook duidelijk maakt, is er op dit punt sinds de zeventiende eeuw niets wezenlijks veranderd.

Met deze omschrijving van de aard van de moderne natuurwetenschap nam Dijksterhuis een bepaald, standpunt in ten aanzien van devraag die in zijn tijd zeer actueel was, namelijk in hoeverre de ontwikkelingen in de vroeg twintigste-eeuwse natuurwetenschap (relativiteitstheorie, quantummechanica en dergelijke) een breuk betekenden met de oude, klassiek-mechanistische natuurwetenschap van de negentiende eeuw. In zijn slotbeschouwing gaat hij al in algemene termen op deze vraag in, maar het is verhelderend die opmerkingen eens te leggen naast de standpuntbepalingen die we in verschillende recensies in *De Gids* kunnen tegenkomen.

Als boekbespreker werd Dijksterhuis regelmatig geconfronteerd met fysici die meenden dat de natuurwetenschap, bijvoorbeeld door het loslaten van een strikte causaliteit, werkelijk een nieuw stadium was binnengetreden. De introductie van de quantummechanica zou een einde hebben gemaakt aan de heerschappij van een mechanistisch, deterministisch wereldbeeld. Zo besprak Dijksterhuis in 1941 het boek van H. Groot, *Geheimen van ruimte en tijd. De natuurwetenschappelijke evolutie*, waarin de schrijver in navolging van

fysici als Jeans en Eddington en de Nederlandse theoloog Bavinck de verwachting uitsprak dat door de omwenteling in het natuurwetenschappelijk denken en de afzwering van het materialistische wereldbeeld een nieuwe synthese tussen geloof en natuurwetenschap totstand zou worden gebracht. Tegenover deze visie stond de opvatting van diegenen die geen wezenlijke vernieuwing constateerden en de nieuwe fysica zelfs als een tijdelijke afwijking beschouwden van de klassieke mechanistische natuurwetenschap. Een voorstander van deze opvatting was de Belgische vrijdenker en fysicus Jean Pelseneer, die nog in 1947 een strijdbaar boek schreef onder de titel *L'évolution de la notion de phénomène physique des primitifs à Bohr et Louis de Broglie* (ook door Dijksterhuis in *De Gids* besproken). Pelseneer beschouwde de quantummechanica als een voorbijgaande crisis in de natuurwetenschap, zoals aan het eind van de negentiende eeuw de energetica een vergeefse poging had gedaan de mechanistische natuurwetenschap opzij te schuiven. Hij keerde zich tegen de gedachte dat de natuurwetenschap niet meer kon bereiken dan een mathematische beschrijving van waargenomen fenomenen (dat liet ruimte voor religieuze opvattingen) en hield staande dat in de natuurwetenschap het ideaal van een verklaring van de verschijnselen met behulp van een realistisch, aanschouwelijk model nog onverkort gold.

Dijksterhuis verwierp beide standpunten. Anders dan Pelseneer nam hij de quantummechanica serieus; de twintigste-eeuwse fysica had definitief gebroken met de aanschouwelijke mechanistische voorstellingen die in de negentiende eeuw nog een illusie van begrip hadden kunnen oproepen. Maar anders dan Groot, Jeans en Eddington zag hij in dat afscheid van de aanschouwelijkheid niet een fundamentele breuk met de negentiende-eeuwse natuurwetenschap. Sinds Newton had de kern van de moderne wetenschap al niet meer gelegen in de verklaring met behulp van aanschouwelijke modellen, maar in de beschrijving van de relaties tussen waargenomen verschijnselen in termen van de rationele mechanica. In dat opzicht was er tussen de negentiende en de twintigste eeuw niets wezenlijks veranderd: nog steeds was de mechanica, de wiskundige leer van de beweging, de kern van de natuurkunde, zij het dat de twintigste-eeuwse (quantum-) mechanica een andere mechanica was dan de klassieke mechanica van Newton. In zekere zin was de twintigste-eeuwse natuurkunde alleen maar een voortzetting van de tendens van de oudere natuurkunde, omdat door het toedoen van Planck, Heisenberg, Schrödinger en anderen elke associatie met aanschouwelijkheid definitief verbroken was. Vandaar dat Dijksterhuis kon schrijven dat de mathematisering van de natuurwetenschappen in de twintigste eeuw ‘voltooid’ was: hij bedoelde daarmee niet dat de natuurwetenschap ‘af’ was, maar dat in deze eeuw definitief haar mathematisch karakter aan de dag was getreden.

Met zijn boek droeg Dijksterhuis niet alleen bij tot de discussie over de aard van de natuurwetenschappelijke vernieuwing aan het begin van de twintigste eeuw, hij leverde ook, zij het meer impliciet dan expliciet, een bijdrage aan

een andere discussie die destijds actueel was, de discussie over de betekenis van de natuurwetenschappen voor de eigentijdse cultuur. In de jaren vijftig werd veelvuldig gesproken over de ‘crisis der cultuur’, waarbij men vooral dacht aan de opkomst van de massa-beschaving, de industrialisatie, de secularisatie en het verloren gaan van oude zekerheden. Meer dan één cultuurpessimist legde de schuld voor die ontwikkeling in belangrijke mate bij de natuurwetenschappen, die gezien werden als de bron van een geseculariseerd wereldbeeld en als de springader van een gemechaniseerde samenleving. In 1949 kwam bijvoorbeeld de socioloog Fred L. Polak uit Amerika terug met verontrustende verhalen over de machinisering van de samenleving en de mechanisering van het denken door de inzet van ‘mechanical brains’ (wij zouden zeggen computers). Het was duidelijk dat Polak de wetenschap zag als de motor achter deze niet al te rooskleurige ontwikkeling.

Tegen het vaak ondoordachte gebruik van begrippen als ‘mechanistisch’ of ‘mechanisering’ tekende Dijksterhuis (alweer in een recensie in *De Gids*) bezwaar aan. Maar al te vaak werd ‘mechanisch’ gelijkgesteld met ‘machinaal’ en ‘gedachtenloos’, terwijl het mechanistische van de moderne natuurwetenschap juist steeds minder te maken had met de voorstelling van de natuur als een machine of een mechanisme dat in principe door een handige werktuigkundige nagemaakt zou kunnen worden. De relatie tussen de mechanisering van de samenleving en de moderne wetenschap lag veel ingewikkelder dan doorgaans gedacht werd. In talloze lezingen die hij in de jaren vijftig over de problemen rond de natuurwetenschap heeft gehouden, drong hij daarom steeds aan op een zuiver woordgebruik. De eerste voorwaarde voor het vinden van een uitweg uit de problemen is een duidelijke omschrijving van de aard van die problemen en een onzuiver gebruik van het begrip ‘mechanistisch’ of ‘mechanisch’ moest daarom beslist vermeden worden.

Niets is actueel wat maar even actueel is; een vraagstuk dat belangrijk is, blijft actueel. Dat geldt zeker voor de discussie over de aard van de moderne wetenschap of die over de plaats die de moderne natuurwetenschap in de cultuur inneemt. Door de fundamentele aanpak die Dijksterhuis gekozen heeft, kan zijn boek over de mechanisering van het wereldbeeld in die discussie nog altijd een rol van betekenis spelen.

Juni 1989

Afkortingen

AFH	Archivum Franciscanum Historicum.
AGPh	Archiv für Geschichte der Philosophie.
BB	Baeumker's Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters.
BM	Bibliotheca Mathematica.
DTF	Divus Thomas (Freiburg).
JHI	Journal of the History of Ideas.
NO	Novum Organum.
OK	Ostwald's Klassiker.
PG	Migne, Patrologia graeca.
PL	Migne, Patrologia latina.
RPh	Revue de Philosophie.
RQSc	Revue des Questions scientifiques.
SB	Sitzungs-Berichte.
VS	Vorsokratiker.

Noten
(Voor afkortingen zie p. 556)

De hier volgende aantekeningen bevatten geen doorlopende en volledige documentatie van iedere in dit werk voorkomende bewering. Het zou in sommige gevallen practisch onmogelijk zijn geweest, haar te geven, terwijl het in andere overbodig leek. Het eerste doet zich voor, waar over de ontwikkeling van het denken, weten en kunnen van een geheel tijdvak refererend bericht wordt; het tweede, waar verwezen kan worden naar werken waarin alle vereiste bewijsplaatsen volledig verzameld staan.

Wij volstaan in beide gevallen dus met de vermelding van door den schrijver geraadpleegde en door den lezer voor diepergaande studie eveneens te raadplegen werken. Naast deze algemene verwijzing worden echter wel zo nauwkeurig mogelijk de bewijsplaatsen voor concrete citaten uit oorspronkelijke historische bronnen opgegeven, benevens de rechtvaardiging van die uitspraken, die niet onder een van de twee genoemde categorieën vallen. Wij hopen, op deze wijze den plicht der verantwoording naar behoren te vervullen, zonder den omvang van dit aanhangsel onmatig te doen groeien.

De algemene verwijzingen bevatten alleen den naam van den auteur van het aangehaalde werk (eventueel met rangnummer van dit werk); indien zij meer dan een naam geven, zijn deze alphabetisch gerangschikt. In de andere noten is aan den auteursnaam een nadere plaatsbepaling toegevoegd. De volledige omschrijving van de titels der aangehaalde geschriften vindt men in de Litteratuurlijst.

Voorbeelden:

Noot 1 van Hoofdstuk II van Deel I bevat een algemene verwijzing naar Pierre Duhem, *Le système du Monde* etc. Paris 1914-1917.

Noot 2 van Hoofdstuk II van Deel I bevat een speciale verwijzing naar Aristoteles, *Metaphysica*, Boek A. Kolom 987 b, r. 28 in de editie-Bekker.

Noot 4 van Hoofdstuk III van Deel I bevat een speciale verwijzing naar E.J. Dijksterhuis, *Simon Stevin*. 's-Gravenhage 1943, blz. 159.

De nummering der noten begint bij ieder nieuw Hoofdstuk (kenbaar door een Romeins cijfer) opnieuw, behalve voor het Derde Deel, waar ze doorloopt.

Getallen zonder voorvoeging van § of c. beduiden bladzijden.

Litteratuur

(Voor afkortingen zie p. 556)

ALANUS DE INSULIS, *Opera*. PL CCX.

ALBERTUS MAGNUS, *Beati Alberti Magni Ratisbonensis Episcopi Opera Omnia* ed. P. Jammy. Lugduni 1651.

ALLIX, G., *Pascal et le système de Copernic*. Bulletin de l'Academie Delphinale XVIII (1904).

ARISTOTELES, *Opera* ed. Academia Regia Borussica. 5 vol. Berlijn 1830-1870.

ARMITAGE, ANGUS,

(1) *Copernicus, the founder of Modern Astronomy*. London 1938.

(2) *Sun, stand thou still. The life and work of Copernicus, the Astronomer*. New York 1947.

ARMSTRONG, A.H., *An Introduction to Ancient Philosophy*. London 1947.

AUGUSTINUS.

(1) *Opera*. PL XXXII vlg.

(2) *Dialogues Philosophiques*, ed. F.J. Thonnard III. Bruges-Paris 1941.

BACON, FRANCIS, *The Works of Francis Bacon, Baron of Verulam, Viscount St. Alban and Lord High Chancellor of England*, collected and edited by James Spedding, Robert Leslie Ellis and Douglas Denon Heath. Vol. I. London 1857. Vol. III, London ^{2}1887.

BACON ROGER,

(1) *The 'Opus Maius'*, ed. John Henry Bridges. 3 vol. Oxford 1897-1900.

(2) *Opera hactenus inedita*, ed. J.S. Brewer. Vol. I. London 1859. I. *Opus Tertium*. II. *Opus Minus*. III. *Compendium Studii Philosophiae*.

(3) *Communium naturalium Libri* I *et* II, ed. Robert Steele. Opera hactenus inedita Fasc. II-IV. Oxford z.j., 1911, 1913.

(4) *Tractatus de multiplicatione specierum*. In (1) II 405-552.

BAEUMKER, CL., *Witelo, ein Philosoph und Naturforscher des* XIII. *Jahrhunderts*. BB III 2. Münster 1908.

BAUMGARTNER, M., *Die Philosophie des Alanus de Insulis, im Zusammenhange mit den Anschauungen des* 12. *Jahrhunderts dargestellt*. BB II 4. Münster 1908.

BAUR, L.,

(1) *Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste, Bischofs von Lincoln*. BB IX. Münster 1912.

(2) *Die Philosophie des Robert Grosseteste, Bischofs von Lincoln* († 1253). BB XVIII 4-6. Münster 1917.

BASILIUS,

(1) *Opera*. PG XXIX-XXXII.

(2) *Des h. Kirchenlehrers Basilius des Grossen... ausgewählte Homilien und Predigten* II, übers. von Dr A. Stegmann. Bibliothek der Kirchenväter. II. München 1925.

BEECKMAN, ISAAC. *Journal tenu par Isaac Beeckman de* 1604 *à* 1634., publié avec une introduction et des notes par C. de Waard. 3 vol. La Haye 1939, 1942, 1945.

BERTRAND, JOSEPH, *Les fondateurs de l'Astronomie moderne. Copernic-Tycho Brahe-Kepler-Galilée-Newton*. Paris z.j.

BETH, EVERT W., *De wijsbegeerte der wiskunde van Parmenides tot Bolzano*. Antwerpen-Nijmegen 1944.
BETH, H.J.E., *Newton's 'Principia'*. 2 dln. Groningen 1932.
BIEBERBACH, LUDWIG, *Galilei und die Inquisition*. München 1938.
BOETHIUS, *Anicii Manlii Severini Boetii Philosophiae Cansolationis Libri quinque*, ed. R. Peiper. Leipzig 1871.
BOLL, F., *Die Entwicklung des astronomischen Weltbildes im Zusammenhang mit Religion und Philosophie*. Die Kultur der Gegenwart. Teil III. Abt. III. Band III.
BORCHERT, ERNST, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme*. BB XXXI 3. Münster 1934.
BORKENAU, FRANZ, *Der Übergang vom feudalen zum bürgerlichen Weltbild. Studien zur Geschichte der Manufakturperiode*. Paris 1934.
BOUCHÉ-LECLERCQ, A., *L'astrologie grecque*. Paris 1899.
BOYLE, ROBERT, *The Works of the Honourable Robert Boyle*. In six volumes. London 1772.
BRAHE, TYCHO
(1) *Tychonis Brahe Dani Opera Omnia* ed. J.L.E. Dreyer. 15 vol. Hauniae 1913-1929.
(2) *Tycho Brahe's Description of his instruments and scientific work asgiven in his Astronomiae Instauratae Mechanica*, transl. and ed. by Hans Raeder, Elis Strömgren and Bengt Strömgren. Kobenhavn 1946.

BRUNET, PIERRE et MIELI, ALDO, *Histoire des Sciences. Antiquité*. Paris 1935.
BRUNSCHVICG, LÉON, *Pascal* (Maîtres des Littératures 13). Paris 1932.
BULLIOT, J., *Jean Buridan et le mouvement de la terre. Question 22e du Second Livre du 'De Coelo'*. RPh XXV (1914) 5-24.

CANTOR, MORITZ, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik* II (1200-1668), Leipzig ^{2}1913.
CARTON, RAOUL, *L'expérience physique chez Roger Bacon*. Paris 1924.
CASSIRER, ERNST
(1) *Die Antike und die Entstehung der antiken Wissenschaft*. Die Antike VIII (1923) 276-300.
(2) *Individuum und Kosmos in der Philosophie der Renaissance*. Studien der Bibliothek Warburg X. Leipzig-Berlin 1927.
(3) *Giovanni Pico della Mirandola. A Study in the History of Renaissance Ideas*. JHI III (1942) 123-144; 319-346.

CHALCIDIUS, *Platonis Timaeus interprete Chalcidio cum eiusdem commentario* ed. J. Wrobel. Leipzig 1876.
COPERNICUS, NICOLAUS,
(1) *De Revolutionibus Orbium Caelestium Libri VI*. Thoruni 1873.
(2) *Über die Kreisbewegungen der Weltkörper*, übers. von C.L. Menzzer. Thorn 1879. Leipzig 1939.
(3) *Des Révolutions des orbes célestes*, trad. de A. Koyré (alleen Boek I) Paris 1934.

CROMMELIN, C.A., *Het lenzenslijpen in de* 17*e eeuw*. Amsterdam 1929.
CUSANO, NICOLÒ, CUSANUS = NICOLAUS VON KUES,

(1) *Della dotta ignoranza*. Testo latino con note di Paolo Rotta. Bari 1913

(2) *De la docte ignorance*, trad. de L. Moulnier. Paris 1930.
(3) *Idiota de Sapientia*. Opera Omnia V, ed. L. Baur. Lipsiae 1937.
(4) *Der Laie über die Weisheit*. Schriften des Nicolaus von Cues in deutscher Übersetzung herausg. von Ernst Hoffmann. Heft 1, von E. Bohnenstädt. Leipzig 1936.
(5) *De Staticis Experimentis*, transl. by Henry Viets. Annals of Medical History IV (1922), nr. 2; 115-135.

DESCARTES, RENÉ, *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery. 12 vol. Paris 1897-1913.
DESSAUER, FRIEDRICH, *Der Fall Galilei und wir*. Luzern 1943.
DEVENTER, CH. M. VAN, *Grepen uit de geschiedenis der chemie*. Haarlem 1924.
DIELS, HERMANN, *Die Fragmente der Vorsokratiker*. 2 dln. Berlin 1922.
DILTHEY, WILHELM, *Der entwicklungsgeschichtliche Pantheismus nach seinem geschichtlichen Zusammenhang mit den älteren pantheistischen Systemen*. Gesammelte Schriften II 312-391. Leipzig.
DREYER, J.L.E.,
(1) *Tycho Brahe*. Edinburgh 1890.
(2) *History of the planetary systems from Thales to Kepler*. Cambridge 1906.

DUHEM, PIERRE,
(1) *Les origines de la Statique*. 2 vol. Paris 1905-06.
(2) *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*. RPh. XI(1907)-XIV(1909).
(3) *Un précurseur français de Copernic*: *Nicole Oresme* (1377). Revue générale des sciences pures et appliquées XX (1909) 866-873.
(4) *Etudes sur Leonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*. 3 vol. Paris 1906-13.
(5) *Roger Bacon et l'horreur du vide*. Little.
(6) *Le système du Monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. 5 vol. Paris 1914-17.
(7) *François de Meyronnes O.F.M. et la question de la rotation de la terre*. AFH VI (1913) 23-25.

DIJKSTERHUIS, E.J.,
(1) *Val en Worp. Een bijdrage tot de geschiedenis der mechanica van Aristoteles tot Newton*. Groningen 1924.
(2) *De Elementen van Euclides*. 2 dln. Groningen 1929-30.
(3) *Descartes als wiskundige*. Groningen 1930.
(4) *Archimedes* I. Groningen 1938.
Archimedes II. In Euclides XV-XVII, XX. Groningen 1938-44.
(5) *Hellenistische kosmologie* en *Van Coppernicus tot Newton* in *Antieke en moderne kosmologie*. Arnhem 1941.
(6) *Simon Stevin*. 's-Gravenhage 1943.

ENRIQUES F. e DE SANTILLANA G., *Storia del pensiero scientifico*. Vol. I. *Il mondo antico*. Bologna 1932.

FARRINGTON, BENJAMIN,

(1.) *Greek Science. Its meaning for us* (*Thales to Aristotle*). London 1944.

(2) *Head and Hand in Ancient Greece*. London 1947.

FAVARO, ANTONIO, *Galileo e l'Inquisizione. Documenti del processo Galileiano*. Firenze 1907.
FELDER, O. Cap., HILARIN, *Geschichte der wissenschaftlichen Studien im Franziskanerorden bis um die Mitte des* 13. *Jahrhunderts*. Freiburg i.Br. 1904.
FERMAT, PIERRE DE, *Oeuvres de Fermat*, edd. P. Tannery et Ch. Henry. 4 vol. Paris 1891-1912.
FLORIAN, PIERRE, *De Bacon à Newton. L'oeuvre de la Société Royale de Londres*. RPh XXIV (1914) 150-168; 381-407; 481-503.
FRANK, PHILIPP, *Das Ende der mechanistischen Physik*. Einheitswissenschaft Heft 5. Wien 1935.
FROST, WALTER, *Bacon und die Naturphilosophie*. München 1927.

GADE, JOHN ALLYNE, *The Life and Times of Tycho Brahe*. Princeton 1947.
GALILEI, GALILEO, *Le Opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale*. 20 vol. Firenze 1890-1909.
GAUTHIER, LEON, *Une réforme du système astronomique de Ptolémée tentée par les philosophes arabes du XIIe siècle*. Journal Asiatique (10) XIV (1909) 483-510.
GEBLER, KARL VON, *Galileo Galilei und die römische Curie*. Stuttgart 1876.
GILBERT, PH., *Le Pape Zacharias et les antipodes*. RQS (1) XII (1882) 478-503.
GILBERT, WILLIAM, *De Magnete magneticisque corporibus et de magno magnete Tellure physiologia nova*. Londini 1600.
GILSON, E., *Introduction à l'étude de St. Augustin*. Paris 1943.
GRAVES, FRANK PIERREPONT, *Peter Ramus and the educational reformation of the sixteenth century*. New York 1912.
GRISAR S.J., HARTMANN, *Galileistudien. Historisch-theologische Untersuchungen über die Urteile der römischen Congregationen im Galileiprozess*. Regensburg 1882.
GROSSMANN, HENRYK, *Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufaktur*. Zeitschrift für Sozialforschung IV (1935) 161-231.
GUERICKE, OTTO VON, *Neue 'Magdeburgische' Versuche über den leeren Raum* (1672). O.K. 59. Leipzig 1894.
GÜNTHER, S., *Nikolaus von Cusa in seinen Beziehungen zur mathematischen und physikalischen Geographie*. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik IX (1899) 123-152.

HAAS, ARTHUR ERICH,
(1) *Antike Lichttheorien*. AGPh XX (1907) 345-386.
(2) *Aesthetische und teleologische Gesichtspunkte in der antiken Physik*. Ibidem XXII (1909) 80-113.

HAITJEMA, TH. L., *Augustinus' Wetenschapsidee*. Utrecht 1917.
HART, IVOR B., *The mechanical investigations of Leonardo da Vinci*. London 1925.
HASKINS, C.H., *Studies in the History of Medieval Science*. Harvard Historical Studies XXVII. Cambridge 1924.
HATZFELD, AD., *Pascal*. Paris 1900.
HEATH, T.L.,
(1) *Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus*. Oxford 1913.
(2) *A History of Greek Mathematics*. 2 vol. Oxford 1921.

HEIMSOETH, HEINZ, *Die sechs grossen Themen der abendländischen Metaphysik und der Ausgang des Mittelalters*. Berlin ^{2}1934.
HELMHOLTZ, H., *Über die Erhaltung der Kraft*. OK 1. Leipzig 1907.
HEROON,
(1) *Heronis Alexandrini Pneumatica* rec. G. Schmidt. Leipzig 1899.
(2) *Heronis Alexandrini Automata*, rec. G. Schmidt. Leipzig 1899.

HERZFELD, MARIE, *Leonardo da Vinci, der Denker, Forscher und Poet*, Leipzig 1904.
HOBBES, THOMAS, *Opera Philosophica, quae Latinè scripsit, Omnia*. Amstelodami 1668.
HOENEN S.J., P.,
(1) *Philosophie der anorganische natuur*. Nijmegen 1938.
(2) *Die Geburt der neuen Naturwissenschaft in Mittelalter*. Gregorianum XXVIII (1947) 164-172.

HOFFMANN, ERNST, *Das Universum des Nikolaus Cusanus*. S.B. der Heidelberger Akad. d. Wiss. Phil.hist. Klasse 1929-30. 3 Abh. Heidelberg 1930.
HOFFMANN, HADELIN, *La synthèse doctrinale de Roger Bacon*. AGPh XX (1907) 196-224.
HOOGVELD, J.H.E.-SASSEN, FERD., *Inleiding tot de Wijsbegeerte* I. Nijmegen 1944.
HOOYKAAS, R.,
(1) *Het begrip Element in zijn historisch-wijsgerige ontwikkeling*. Utrecht 1933.
(2) *Het ontstaan der zwavelkwiktheorie*. Chem. Weekblad XXXII (1935) Nr. 29.
(3) *Het hypothesebegrip van Kepler*. Orgaan van de Chr. Ver. van Natuuren Geneeskundigen in Nederland. 1939.
(4) *Robert Boyle. Een studie over Natuurwetenschap en Christendom*. Loosduinen z.j.
(5) *Het ontstaan van de chemische atoomleer*. Tijdschrift voor Philosophie IX (1947) 63-136.

HOUGHTON Jr., W.E.,
(1) *The History of Trades*. JHI II (1941) 33-60.
(2) *The English Virtuoso in the seventeenth century*. JHI III (1942) 51-73; 190-219.

HRABANUS MAURUS, *Opera*. PL CVII-CXII.
HUMBERT, PIERRE, *Cet effrayant génie*... L'oeuvre scientifique de Blaise Pascal. Paris 1947.
HUYGENS, CHRISTIAAN, *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*, publiées par la Société hollandaise des Sciences, 23 vol. La Haye 1888-1950.

JANSEN, B., *Olivi, der älteste scholastische Vertreter des heutigen Bewegungsbegriffs*. Philosophisches Jahrbuch XXXIII (1920) 137-152.
JEANS, Sir JAMES, *The mysterious Universe*. Cambridge 1932.
JOËL, KARL, *Der Ursprung der Naturphilosophie aus dem Geiste der Mystik* Jena 1906.
JOHANNES SARESBERIENSIS, *Opera*. PL. CIC.

JUNG, C.G., *Psychologie und Alchemie*. Zürich 1944.

KEPLER, JOHANNES,
(1) *Opera Omnia* ed. Ch. Frisch. 8 vol. Frankfurt 1858-71.
(2) *Gesammelte Werke*, herausgeg. von Walter von Dyck † und Max Caspar. I-IV, VI. München 1937-41.
(3) *Neue Astronomie*, übers. und eingeleitet von Max Caspar. München-Berlin 1929.
(4) *Das Weltgeheimnis* (*Mysterium Cosmographicum*), übers. und eingel. von Max Caspar. München-Berlin 1936.

KLEUTGEN, S.J., JOS, *Die Philosophie der Vorzeit*, 2 dln. Münster 1860-63.
KLEOMEDES, *De motu circulari corporum caelestium*, ed. Ziegler. Leipzig 1891.
KLIBANSKY, RAYMOND, *The continuity of the Platonic Tradition during the Middle Ages. I. Outline of a Corpus Platonicum Medii Aevi*. London 1939.
KNESER, ADOLF, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung von Leibniz bis zur Gegenwart*. Leipzig-Berlin 1928.
KOSMAS INDICOPLEUSTES, *Opera*. PG LXXXVIII.
KOYRE, A.,
(1) *Etudes Galiléennes*. Paris 1939.
I. *A l'aube de la science classique*.
II. *La loi de la chute des corps. Descartes et Galilée*.
III. *Galilée et la loi d'inertie*.

(2) *Galileo and Plato*. JHI IV (1943) 400-428.

KREBS, ENGELBERT, *Meister Dietrich* (*Theodoricus Teutonicus de Vriberg*), *sein Leben, seine Werke, seine Wissenschaft*. BB V 5-6. Münster 1906.
KRISTELLER, PAUL O. and RANDALL Jr., JOHN H., *Study of Renaissance Philosophies*. JHI II (1941) 490.

LACTANTIUS, *Opera*. PL VI.
DE LACY O' LEARY, *How Greek science passed to the Arabs*. London 1949.
LAER, P.H. VAN, *Actio in distans en aether*. Utrecht-Brussel 1947.
LANGE, FRIEDRICH ALBERT, *Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung in der Gegenwart*. Iserlohn. ^{3}1876.
LAPPE, JOSEPH, *Nicolaus von Autrecourt. Sein Leben, seine Philosophie, seine Schriften*. BB VI 2. Münster 1908.
LASSWITZ, KURD, *Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton*. 2 dln. Hamburg-Leipzig 1890.
LEAVENWORTH, ISABEL, *The Physics of Pascal*. New York 1930.
LEIBNIZ, G.W., *Die philosophischen Schriften* von -. 7 dln. Herausgeg. Von C.J. Gerhardt. Berlin 1875-1890.
LENOBLE, ROBERT, *Mersenne ou la naissance du Mécanisme*. Paris 1943.
LEONARDO DA VINCI-MACCURDY, *The Notebooks of Leonardo da Vinci*. Arranged, rendered into English and introduced by Edward MacCurdy. 2 vol. New York z.j.
LEONARDO DA VINCI-LÜCKE, *Tagebücher und Aufzeichnungen*, übersetzt und herausgegeben von Theodor Lücke. Leipzig 1940.
LIEBESCHÜTZ, HANS, *Kosmologische Motive in der Bildungswelt der Frühscholastik*. Vorträge der Bibliothek Warburg 1923-24. Leipzig-Berlin 1926.
LIEBIG, JUSTUS VON, *Über Francis Bacon von Verulam und seine Methode der Naturforschung*. München 1863.

LIPPMANN, E.O. VON, *Entstehung und Ausbreitung der Alchemie*. Berlin 1919.
LITTLE, A.G., *Roger Bacon. Essays contributed by various writers on the occasion of the commemoration of his birth*. Oxford 1914.
LÜCKE, THEODOR → LEONARDO DA VINCI.
LUCRETIUS CARUS, TITUS, *De rerum natura*, ed. A. Ernout. Paris [7]1946.

MACCURDY, EDWARD → LEONARDO DA VINCI.
MACH, ERNST, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*. Leipzig [7]1912.
MAIER, ANNELIESE,

(1) *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Leipzig 1938.
(2) *Das Problem der intensiven Grösse in der Scholastik*. Leipzig 1939.
(3) *Die Impetustheorie der Scholastik*. Wien 1940.
(4) *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft*. Essen 1943.
(5) *Die scholastische Wesensbestimmung der Bewegung als forma fluens oder fluxus formae und ihre Beziehung zu Albertus Magnus*. Angelicum XXI (1944) 97-111.
(6) *La doctrine de Nicolas d'Oresme sur les 'Configurationes Intensionum'*. Revue des Sciences XXXII (1948) 52-67.
(7) *Der Funktionsbegriff in der Physik des* 14. *Jahrhunderts*. DTF XIX (1946) 147-166.
(8) *Die Vorläufer Galileis im* 14. *Jahrhundert, Studien zur Naturphilosophi der Spätscholastik*. Roma 1949*.

MANDONNET, PIERRE, *Siger de Brabant*. Les Philosophes Belges.

(1) T. VI. *Etude critique*. Louvain 1911.
(2) T. VII. *Textes inédits*. Louvain 1908.

MANILIUS, *Astronomicon*, rec. F. Jacob. Berolini 1846.
MARCOLONGO, ROBERTO, *La Meccanica di Leonardo da Vinci*. Napoli 1932.
MARTIN, ALFRED VON, *Sociology of the Renaissance*. Engelse vertaling van *Soziologie der Renaissance*. 1932. London 1945.
MAUPERTUIS, P.L. MOREAU DE, *Les Oeuvres de Maupertuis* I. Berlin 1753.
MELSEN,** A.G.M. VAN, *Het wijsgerig verleden der Atoomtheorie*. Amsterdam 1941.
MEYERSON, *Identité et Réalité*. Paris 1908
MUSKENS, G.L., *Is bij Aristoteles van minima naturalia sprake?* Studia Catholica XXI (1946) 173-175.
MICHALSKY, C.,

(1) *Les courants philosophiques à Oxford et à Paris pendant le XIVe siècle*. Bulletin intern. de l'Académie polonaise des Sciences et des lettres. Cl. de philologie, cl. d'histoire et de philosophie. 1919-20. 59-88.

* Daar dit boek eerst verschenen is, toen het manuscript van dit werk reeds was afgesloten, hebben wij slechts op enkele plaatsen gebruik kunnen maken van de nieuwe gegevens die het bevat.

** Sedert het voltooien van dit werk verschenen van de hand van dezen auteur nog: *De betekenis der wijsgerige corpuscula-theorieën voor het ontstaan der chemische atoomleer*. Tijdschrift voor Philosophie (1948) 673-716.
Van Atomos naar Atoom. De geschiedenis van het begrip Atoom. Amsterdam 1949.

(2) *Les sources du criticisme et du scepticisme dans la philosophie du XIVe siècle*. 1922. 50-51.

(3) *Le Criticisme et le Scepticisme dans la philosophie du XIVe siècle*. 1925. 41-122.
(4) *Les courants critiques et sceptiques dans la philosophie du XIVe siècle*. 1925. 192-242.
(5) *La physique nouvelle et les différents courants philosophiques au XIVe siècle*. 1927. 158-164.

MIELI, ALDO,
(1) *La science arabe et son rôle dans l'évolution scientifique mondiale*. Leiden 1938.
(2) *Les 'Discorsi e Dimostrazione Matematiche' di Galileo Galilei et la formation de la dynamique moderne*. Paris 1939. Archeion XXI (1938) 193-312.

MILHAUD, GASTON, *Descartes savant*. Paris 1931.
MISES, RICHARD VON, *Kleines Lehrbuch des Positivismus. Einführung in die empiristische Wissenschaftsauffassung*. 's Gravenhage 1939.
MOODY, ERNEST A., *The logic of William of Ockham*. London 1935.
MORE, LOUIS TRENCHARD,
(1) *Isaac Newton. A Biography*. New York-London 1934.
(2) *The Life and Works of The Honourable Robert Boyle*. Oxford Univ. Press 1944.

MOSER, S., *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei William von Ockham*. Philosophie und Grenzwissenschaften IV 2-3. Innsbruck 1932.
MULLER, S.J., ADOLF, *Der Galilei-Prozess* (1632-1633) *nach Ursprung, Verlauf und Folgen*. Ergänzungsband XXVI zu Stimmen aus Maria Laach. Freiburg i.Br. 1909.
MUNK, S., *Mélanges de philosophie juive et arabe*. Paris 1859.

NATORP, P., *Die kosmologische Reform der Kopernicus in ihrer Bedeutung für die Philosophie*. Preussische Jahrbücher IL (1882) 355-375.
NEUMANN, C., *Über die Prinzipien der Galilei-Newtonschen Theorie*. Leipzig 1870.
NEWTON, ISAAC,
(1) *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Amsterdam 1714.
(2) *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*. Translated into English by Andrew Motte in 1729. Revised by Florian Cajori. Berkeley 1934.
(3) *Optice sive de Reflexionibus, Refractionibus, Inflexionibus et Coloribus Libri Tres*. Londini 1706.
(4) *Opticks or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*. London 1931.

NICOLAUS DE CUSA, → CUSANUS.

OLSCHKI, LEONARDO,
Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur.
(1) I. *Die Literatur der Technik und der angewandten Wissenschaften vom Mittelalter bis zur Renaissance*. Heidelberg 1918.
(2) III. *Galilei und seine Zeit*. Halle 1927.

ORNSTEIN, MARTHA, *The rôle of scientific Societies in the seventeenth Century*. Chicago ^{3}1938.
ORIGENES, *Opera*. PG XI-XVII.

PACIOLI, FRA LUCA, *Divina Proportione. Die Lehre vom goldenen Schnitt*. Nach der venizianischen Ausgabe vom Jahre 1509 neu herausgegeben, übersetzt und erläutert von Constantin Winterberg. Wien 1889.
PASCAL, BLAISE,
(1) *Pensées et Opuscules*, ed. L. Brunschvicg, Paris [19]z.j.
(2) *Oeuvres Complètes*, ed. L. Brunschvicg. e.a. 14 vol. Paris 1904-1914.
(3) *Oeuvres Complètes*, ed. F. Strowski. Paris z.j.

PESCH S.J., TILMANN, *Die grossen Welträtsel. Philosophie der Natur*. I. *Philosophie der Naturerklärung*. Freiburg i.Br. [2]1892.
PETRUS PEREGRINUS MARICURTENSIS, *De Magnete, seu Rota perpetui motus libellus*. Augsburg 1558.
PFEIFFER, E., *Studien zum antiken Sternglauben*. Leipzig 1926.
PHILIPPE, E., *Lucrèce dans la théologie chrétienne du IIIe au XIIIe siècle et spécialement dans les écoles carolingiennes*. Revue de l'histoire des religions XXXII (1895) 284-302. XXXIII (1896) 19-36; 125-162.
PICAVET, F.,
(1) *Esquisse d'une histoire générale et comparée des philosophies médiévales*. Paris 1905.
(2) *Essais sur l'histoire générale et comparée des théologies et des philosophies médiévales*. Paris 1913.

PINES, S., *Les précurseurs musulmans de la théorie de l'Impetus*. Archeion XXI (1938) 298-306.
PLATO,
(1) *Timaios* ed. A. Rivaud. Paris 1925.
(2) *Gorgias* ed. W. Nestle. Leipzig [5]1909.
(3) *Leges* ed. G. Stallbaum. Leipzig 1859-1860.

PLUTARCHUS,
(1) *Vita Marcelli*.
(2) *De facie in Orbe Lunae*.

PROWE, LEOPOLD, *Nicolaus Coppernicus*. 2 dln. Berlin 1883-84.

RANDALL Jr., J.H.,
(1) *The making of the Modern Mind. A Survey of the Intellectual Background of the Present Age*. Boston 1940.
(2) *The development of Scientific Method in the School of Padua*. JHI I (1940) 177-206.
(3) → KRISTELLER.

READ, JOHN, *Prelude to Chemistry. An outline of alchemy, its literature and relationships*. London 1936.
REUTER, H., *Geschichte der religiösen Aufklärung*. 2 dln. Berlin 1875.
RIEKEL, AUGUST, *Die Philosophie der Renaissance*. München 1925.
ROTTA, PAOLO, *Il cardinale Nicolò di Cusa. La vita ed il pensiero*. Milano 1928.
ROZELAAR, MARC, *Lukrez. Versuch einer Deutung*. Amsterdam 1943.
RUSSELL, BERTRAND, *Religion and Science*. Oxford 1947.

RYDBERG, VIKTOR, *Medeltidens Magi*. Skrifter XI. Stockholm [10]1926.

SARTON, GEORGE,
Introduction to the History of Science.

I. *From Homer to Omar Khayyam*. Baltimore 1927.
II, 1. *From Rabbi ben Ezra to Gerard of Cremona*. Baltimore 1931.
II, 2. *From Robert Grosseteste to Roger Bacon*. Baltimore 1931.
III, 1, 2. *Science and Learning in the fourteenth century*. Baltimore 1947-48.

SASSEN, FERD.,
(1) *Geschiedenis van de Wijsbegeerte der Grieken en Romeinen*. Nijmegen ^{2}1932.
(2) *Geschiedenis der patristische en middeleeuwse Wijsbegeerte*. Nijmegen 1932.

SCHIMANK, HANS, *Otto von Guericke*. Magdeburg z.j.
SCHLICK, MORITZ, *Gesammelte Aufsätze*. 1926-1936. Wien 1938.
SCHLUND, O.F.M., ERHARD, *Petrus Peregrinus von Maricourt. Sein Leben, seine Schriften, Ein Beitrag zur Roger Bacon-Forschung*. AFH IV (1911) 436-455, 633-643. V (1912) 22-40.
SCHNABEL, PAUL, *Berossos und die babylonisch-hellenistische Literatur*. Leipzig 1923.
SCHOLZ, HEINRICH, *Die Axiomatik der Alten*. Blätter für deutsche Philosophie IV (1930-31) 259-278.
SCHUHL, P.M., *Machinisme et Philosophie*. Paris 1947.
SENECA. *L. Annaci Senecae ad Lucilium Epistolae Morales*, rec. A. Beltrami. 2 vol. Romae ^{2}1937.
SHERWOOD TAYLOR, F., *Galileo and the freedom of thought*. London 1938.
SIGER VAN BRABANT, *Quaestiones de anima intellectiva*. Mandonnet (2).
STRUNZ, FRANZ,
(1) *Geschichte der Naturwissenschaften im Mittelalter*. Stuttgart 1910.
(2) *Albertus Magnus. Weisheit und Naturforschung im Mittelalter*. Leipzig 1926.

TANNERY, PAUL, *Une correspondance d'écolâtres du XIe siècle*. Mémoires Scientifiques V 229-303.
TAYLOR, H.O., *The mediaeval mind*. 2 vol. London 1911.
TERTULLIANUS, *Opera*. PL I, II.
THIRION, J., *Pascal, l'horreur du vide et la pression atmosphérique*. RQS (3) XII (1907) 383-450. XIII (1908) 149-251.
THOMAS AQUINAS,
(1) *Pars Prima Summae Theologiae*. Opera Omnia III. Romae 1886.
(2) *Summa de Veritate Catholicae Fidei contra Gentiles*, ed. P.A. Uccelli. Romae 1878.
(3) *Commentaria in libros Aristotelis de Caelo et Mundo*. Opera Omnia III. Romae 1886.
(4) *Opuscula Omnia*, ed. P. Mandonnet. Parisiis 1927.
(5) *In Aristotelis Librum de Anima Commentarium*, ed. Pirotta. Taurini 1925.

THORNDIKE, LYNN, *A History of Magic and Experimental Science during the first thirteen centuries of our Era*. 2 vol. New York 1923.

Vol. III. 14*th and* 15*th century*. New York 1934.
TORRICELLI, EVANGELISTA,
(1) *Esperienza dell' argento vivo*. Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, herausgegeben von G. Hellmann. No. 7. Berlin 1897.
(2) *De Motu Gravium naturaliter descendentium et Projectorum Libri duo. Opera Geometrica*. Florentiae 1644.

UEBERWEG, FRIEDRICH,
Grundriss der Geschichte der Philosophie.
(1) KARL PRAECHTER, *Die Philosophie des Altertums*. Berlin [12]1926.
(2) BERNHARD GEYER. *Die patristische und scholastische Philosophie*. Berlin [11]1928.

UEBINGER, JOHANN. *Die philosophischen Schriften des Nikolaus Cusanus*. Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik. CIII (1894) 65-121. CV (1895) 46-105. CVII (1896) 48-103.

VLEESCHAUWER, H.J. DE, *René Descartes. Levensweg en Wereldbeschouwing*. Nijmegen-Utrecht 1937.
VOGL, SEBASTIAN,
(1) *Die Physik Roger Bacons* (13. *Jahrh.*). Erlangen 1906.
(2) *Roger Bacons Lehre von der sinnlichen Spezies und vom Sehvorgange*. Little VIII.

WAARD, C. DE,
(1) *Le manuscrit perdu de Snellius sur la réfraction*. Janus XXXIX (1935) 51-73.
(2) *L'experience barométrique. Ses antécédents et ses explications*. Thouars 1936.
(3) → BEECKMAN.

WALTER, E.J., *Warum gab es im Altertum keine Dynamik?* Arch. Intern. d'Histoire des Sciences I. Archeion XVIII (1948) 365-382.
WEDEL, TH. O., *The mediaeval attitude toward Astrology*. New Haven-London-Oxford 1920.
WEINBERG, JULIUS R., *The fifth letter of Nicholas of Autrecourt to Bernard of Arezzo*. JHI III (1942) 220-227.
WENCKEBACH, W., *Over Petrus Adsigerius en de oudste waarnemingen van de afwijking der magneetnaald*. Natuur- en Scheikundig Archief III (1835) 267.
WERNER, KARL, *Die Kosmologie und Naturlehre des scholastischen Mittelalters mit spezieller Beziehung auf Wilhelm von Conches*. S.B. der Kaiserlichen Akad. d. Wiss. Wien. Phil. Hist. Kl. LXXV (1873) 309-403.
WIEDEMANN, EILHARD, *Roger Bacon und seine Verdienste um die Optik*. Little VII.
WIELEITNER, HEINRICH, *Der 'Tractatus de latitudinibus formarum' des Oresme*. BM (3) XIII (1913) 115-145.
WILLNER, H., *Des Adelard von Bath Traktat De eodem et diverso*. BB IV 1. Münster 1903.
WOHLWILL, EMIL,
Galilei und sein Kampf für die copernicanische Lehre.
I. *Bis zur Verurteilung der copernicanischen Lehre durch die römischen Congregationen*. Hamburg 1909.
II. *Nach der Verurteilung der copernicanischen Lehre durch das Dekret von* 1616. Leipzig 1926.

WURSCHMIDT, J., *Roger Bacons Art des wissenschaftlichen Arbeitens dargestellt nach seiner Schrift De Speculis*. Little IX.

ZILSEL, EDGAR,

(1.) *Copernicus and Mechanics*. JHI I (1940) 113-118.

(2) *The sociological roots of science*. The American Journal of Sociology XLVII (1941-42) 544-562.
(3) *The genesis of the concept of physical law*. The Philosophic Review LI (1942) 245-279.
(4) *The origins of William Gilbert's scientific method*. JHI II (1941) 1-32.

ZIMMERMANN, FRANZ, *Des Claudianus Mamertus Schrift 'De statu animae libri tres'*. DTH (2) I (1914) 238-256; 332-368; 471-495.
ZINNER, ERNST,
(1) *Geschichte der Sternkunde*. Berlin 1931.
(2) *Entstehung und Ausbreitung der coppernicanischen Lehre*. Erlangen 1943

Naamregister

In dit register zijn alleen die namen opgenomen die in den tekst van het werk voorkomen, niet de talrijke auteursnamen die in de noten en de litteratuurlijst vermeld worden. Een uitzondering is slechts gemaakt in de sporadische gevallen, waarin een noot niet uitsluitend voor documentatie dient, maar een aanvulling van den tekst bevat. In dit geval is de letter *n* toegevoegd.

De opgegeven getallen verwijzen naar de paragrafen, b.v. III: 16 = § 16 van het Derde Deel.

Jaartallen zonder toevoeging duiden jaren na Christus aan.

Romeins geschreven getallen geven eeuwen aan; de indices 1 en 2 hierbij betekenen opv. 1e en 2e helft van de genoemde eeuw, b.v. XIII 2 = 2e helft van de 13e eeuw.

fl (floruit) beduidt de ἀκμή (levenstop).

* = geboren; † = overleden; c. = circa.

ABAELARDUS, PETRUS. Frans scholasticus (1079-1142). II: 98

ABU AL-WAFÂ. Arabisch wiskundige en astronoom (940-c. 997). III: 64

ABUBACER = IBN TUFAYL. Spaans-Arabisch medicus en philosoof († 1185/6). II: 142. III: 60

ACHILLINI, ALESSANDRO. Italiaans medicus (1463-1512). III: 18

ADELARD VAN BATH. Engels geleerde en vertaler (fl. 1116-1142). II: 17, 19-21, 25, 29, 30, 33, 66

ADELBOLD. Bisschop van Utrecht († 1026/7). II: 9

ADRASTOS van Aphrodisias. Grieks wijsgeer (II 1). I: 82

ADRIANUS AFRICANUS. (VII 2). II: 3

AEGIDIUS ROMANUS. Italiaans scholasticus (1243/4-1316). II: 66, 93, 105

AGRICOLA, GEORG (= GEORG BAUER). Duits medicus en mijnbouwkundige (1490-1555). IV: 175

AGRIPPA VAN NETTESHEIM. Duits natuurphilosoof (1486-1532). III: 69

ALANUS DE INSULIS. Frans scholasticus (c. 1128-1202). II: 21, 31-33, 36, 66

ALBATEGNIUS = AL-BATTÂNÎ. Arabisch astronoom (c. 858-929). I: 70. II: 16, 19, 144. III: 64

ALBERTI, LEON BATTISTA. Italiaans kunstenaar en schrijver (1404-1472). III: 27-29

ALBERT VAN SAKSEN (van Helmstedt, van Rückmersdorf, Albertus parvus, Albertillus). Duits scholasticus (c. 1325-1390). II: 94, 112, 115, 136, 137, 151. III: 49. IV: 88, 89

ALBERTUS MAGNUS S., van Bollstädt, Duits scholasticus (1193 of 1206/7-1280), II: 38, 39, 45-47, 48, 53, 83, 84, 89, 91, 94, 105, 107, 110, 111, 137, 143, 145. III: 10

ALBUMASAR = ABÛ M□ ŠAR... AL BALḫÎ. Arabisch astroloog († 886). II: 16, 19, 85

ALCUIN. Engels scholasticus (735-804). II: 3, 4, 6

ALEXANDER van Aphrodisias. Grieks wijsgeer, commentator van Aristoteles (fl. c. 200). I: 46. II: 63, 105. III: 14

ALEXANDER van Hales (Halensis). Engels scholasticus (1170/80-1245). II: 38, 39, 53, 61, 77

ALFRAGANUS = AL-FARGHÂNÎ. Arabisch astronoom (IX). II: 16, 19, 144.

ALHAZEN = IBN AL-HAYṬAM. Arabisch wis- en natuurkundige (c. 965-c. 1039). II: 16, 68, 69, 141

ALKHWĀRIZMĪ → AL-ḫUWÂRIZMÎ.

ALPETRAGIUS = AL-BITRÛǦÎ. Spaans-Arabisch astronoom (XII 2). II: 16, 142, 143, 145, 146-148. III: 13, 59, 60

AMBROSIUS S. Kerkvader, bisschop van Milaan (c. 340-397). II: 2
AMICO, GIOVANNI BATTISTA, Italiaans astronoom († 1538). III: 60
AMMONIAS SAKKAS, van Alexandria. Grieks wijsgeer (fl. c. 240). I: 117
ANAXAGORAS, van Clazomenae. Grieks wijsgeer (c. 499-438 v. Chr.). I: 7, 29
ANAXIMANDER, van Milete. Grieks wijsgeer (c. 610-c. 540 v. Chr.). I: 102
ANTHEMIOS, van Tralles. Grieks wiskundige († c. 534). I: 101
APOLLONIOS, van Perga. Grieks wiskundige (265?-170 v. Chr.). I: 60, 61, 101, 112, 119. II: 7, 19. III: 2
APULEIUS, LUCIUS, van Madaura. Romeins schrijver (* c. 125). II: 10.
ARCHIMEDES, van Syracuse. Grieks wiskundige (187-212 v. Chr.). I: 2, 49, 60-62, 65-67, 78, 93, 95, 112, 119. II: 7, 19, 59. III: 2, 16, 32, 33, 41, 49. IV: 50, 60-62, 73, 80, 83, 126, 129, 142, 164, 165, 167, 286
ARCHYTAS, van Tarente. Grieks wijsgeer en wiskundige (IV 1 v. Chr.). I: 4
ARIADNE, mythologische prinses. IV: 186
ARISTARCHOS, van Samos. Grieks astronoom (c. 310-250 v. Chr.). I: 78, 114. IV: 17, 22
ARISTOTELES, van Stagira. Grieks wijsgeer (384-322 v. Chr.). passim
ARNOBIUS. Kerkelijk schrijver. (fl. c. 300). II: 5
ARNOLD, van Villanova. Catalaans geleerde (c. 1240-1311). II: 91
ATALANTA, mythologische prinses. IV: 190
AUGEIAS, mythologisch vorst. IV: 185
AUGUSTINUS S. Kerkvader, bisschop van Hippo (354-430). I: 115-118, 120, 122, 123. II: 5, 10, 11, 22, 54, 57, 77, 82, 103, 134
AUGUSTUS, Romeins keizer. (63 v. Chr. -14). I: 111
AVEMPACE = IBN BÂǦǦÂ. Spaans-Arabisch astronoom (c. 1106-1138/9). II: 105, 142. III: 60
AVENCEBROL → AVICEBRON
AVERROËS = IBN RUŠD. Spaans-Arabisch wijsgeer, commentator van Aristoteles (1126-1198). II: 16, 35, 36, 38, 57, 63, 81, 101, 105, 107, 110, 124, 133, 134, 137, 140, 142, 145, 147. III: 14, 60, 67
AVICEBRON = IBN GABIROL. Spaans-Joods wijsgeer (c. 1021-c. 1058). II: 19, 77
AVICENNA = IBN SÎNÂ. Perzisch-Arabisch wijsgeer en medicus (980- 1037). II: 16, 19, 35, 77, 105, 107, 111, 133, 134, 140. III: 69, 74

BACON, FRANCIS. Engels staatsman, philosoof en schrijver (1561-1626). II: 24, 53. IV: 173, 183-193
BACON, ROGER. Engels scholasticus (c. 1210-c. 1292). II: 47-62, 65-67, 69, 72-77, 79, 84, 85, 87, 89, 91, 93, 110, 111, 134, 137, 147, 148. III: 42. IV: 45, 175
BALIANI, GIOVANNI BATTISTA. Genuees patricier (1582-1666). IV: 124, 125, 130, 133, 137
BANÛ-MÛSÂ. Arabische wiskundigen en astronomen, bevorderaars van vertalingen. II: 63
BARROW, ISAAC. Engels theoloog en wiskundige (1630-1677). IV: 170
BARTHOLINUS, ERASMUS. Deens wisen natuurkundige (1625-1698). IV: 286
BARTHOLOMAEUS ANGLICUS. Engels scholasticus (XIII 1). II: 83
BASILIUS S. Kerkvader (c. 330-379). I: 115, 116
BASSO, SEBASTIAAN. Frans medicus en chemicus (XVII 1). III: 75, 77
AL-BATTÂNÎ → ALBATEGNIUS.
BEDA. Engels scholasticus (674-735). II: 2-4, 6
BEECKMAN, ISAAC. Nederlands geleer-

de (1588-1637). III: 52. IV: 70-76, 79, 125, 136, 137
BELLARMINUS, ROBERTUS. Kardinaal (1542-1621). IV: 162
BENEDETTI, GIOVANNI BATTISTA. Italiaans wis- en natuurkundige (1530-1590). III: 56, 57. IV: 80, 277
BENEDICT BISCOP. Engels geleerde (c. 628-690). II: 3
BENTLEY, RICHARD. Engels theoloog en classicus (1662-1742). IV: 322, 324
BERNARD, van Chartres. Frans scholas-ticus († c. 1126). II: 10, 20, 28
BERNARD S., van Clairvaux. Frans scholasticus (1091-1153). II: 27, 30
BERNARD SYLVESTER, van Tours. Frans scholasticus (fl. c. 1150). II: 25, 30
BERNARD, van Verdun. Frans scholasticus (XIII). II: 148
BERNOULLI, DANIEL. Zwitsers wiskundige (1700-1782). IV: 281
BERNOULLI, JOHANNES. Zwitsers wiskundige (1667-1748). IV: 101
BEROSSOS. Babylonisch astronoom (fl. c. 280 v. Chr.). I: 109
BESSARIOON, JOHANNES. Kardinaal, Grieks humanist (1395-1472). III: 3, 62
BIAGIO PELACANI → BLAISE, van Parma
BIRINGUCCIO, VANUCCIO. Italiaans mijnbouwkundige en chemicus (1480-1539). III: 35
AL-BITRÛǦÎ → ALPETRAGIUS
BLAISE, van Parma. Italiaans geleerde († 1416). III: 16
BOETHIUS. Romeins wijsgeer (480- 525). II: 1, 2, 8-11, 33, 34
BOMBELLI, RAFFAELE. Italiaans wiskundige (XVI 2). III: 31
BONAVENTURA S., Frans scholasticus (1221-1274). II: 77, 103, 110
BONET, NICOLAS. Frans scholasticus (XIV 1). II: 111
BORELLI, GIOVANNI ALFONSO. Italiaans medicus, physicus en astronoom (1608-1679). IV: 136, 137
BORKENAU, FRANZ. III: 26
BOROUGH, WILLIAM. Engels zeevaarder (1536-1599). IV: 174
BOYLE, ROBERT. Engels natuur- en scheikundige(1627-1691). IV: 193, 244-261, 279-283, 312, 322
BRADWARDINE, THOMAS. Engels scholasticus (c. 1290-1349). II: 113, 120, 122-124
BRUNELLESCHI, FILIPPO. Italiaans architect (1379-1446). III: 27, 28
BRUNO, GIORDANO. Italiaans natuurphilosoof (1548-1600). III: 12, 31
BURCKHARDT, JACOB. Zwitsers cultuurhistoricus (1818-1897). III: 27
BURIDAN, JEAN. Frans scholasticus (c. 1300-c. 1358). II: 94, 112-116, 136, 151. III: 56. IV: 79, 125
BURLEIGH, WALTER (BURLAEUS). Engels scholasticus (c. 1275-c. 1345). II: 135
BRAHE, TYCHO. Deens astronoom (1546-1601). IV: 1, 6, 19-25, 28-30, 32, 38, 47, 58, 119, 153, 270

CALCAGNINI, CELIO. Italiaans geleerde (1479-1541). III: 61. IV: 17
CASSIDORUS SENATOR. Romeins staatsman en geleerde (c. 490-c. 580). II: 1, 2
CASSIRER, ERNST. Duits philosoof (1874-1945). III: 21
CAVALIERI, BONAVENTURA. Italiaans wiskundige (1598-1647). IV: 124, 170, 226
CELLINI, BENVENUTO. Italiaans kunstenaar (1500-1571). III: 27
CHALCIDIUS. Romeins geleerde (fl. IV 1). II: 10, 11, 31, 34
CHARLES V. Koning van Frankrijk (1337-1380). III: 31
CHOSROËS. Koning van Perzië van 531 tot 579). II: 13
CHRUSIPPOS, van Tarsos. Grieks wijsgeer (c. 280-c. 208 v. Chr.). I: 111

CICERO, MARCUS TULLIUS. Romeins wijsgeer en redenaar (c. 106-43 v. Chr.).
I: 123. II: 10

ÇLAUDIANUS. Romeins dichter (fl. c. 400). II: 32 n. 14
CLAUDIANUS MAMERTUS. Frans theoloog († 474). II: 10
CLEMENS ALEXANDRINUS. Kerkelijk schrijver (c. 150-c. 215). I: 119
COLBERT, JEAN-BAPTISTE. Frans staatsman (1619-1683). IV: 193
COLUMBUS, CHRISTOPHORUS. Italiaans ontdekkingsreiziger (1451-1506). IV: 185
COMMANDINO, FEDERIGO. Italiaans wiskundige (1509-1565). IV: 60
CONINBRICENSES. Jezuïeten van het College te Coïmbra (XVI). III: 51, 68
CONSTANTINUS AFRICANUS. Vertaler van Arabische werken. II: 17, 25
COPERNICUS, NICOLAUS. Pruisisch astronoom (1473-1543), II: 110, 151. III: 12, 13, 62. IV: 1-22, 29, 32, 33, 35, 41, 47, 105, 107, 112, 129, 153, 155, 157, 160, 172, 181, 189, 219, 220, 270
COSIMO II. Groothertog van Toscana (1590-1621). IV: 84
CREMONINI, CESARE. Italiaans philo-soof (1550-1631). III: 16
CUSANUS, NICOLAUS, Duits theoloog en natuurphilosoof, Kardinaal (1401-1464). III: 4-13, 24, 50, 59. IV: 17, 179, 226

DAIDALOS Mythologisch uitvinder. I: 95. II: 51.
DALTON, JOHN. Engels natuur- en scheikundige (1766-1844). I: 9. IV: 247
DAMASKIOS, van Damascus. Grieks wijsgeer (VII). I: 46. II: 13, 105
DELFINO, GIOVANNI ANTONIO. Italiaans astronoom (XVI). III: 60
DEMOKRITOS van Abdera. Grieks wijsgeer (c. 460-c. 370 v. Chr.). 1:8-13, 17, 50, 98. II: 5, 137. III: 74, 77. IV: 218, 227, 231, 234, 242
DERKYLLIDES. Grieks astronoom (begin Chr. jaartelling). I: 82
DESCARTES, RENÉ. Frans wijsgeer en wiskundige (1596-1650). I: 45. II: 113. III: 52. IV: 72, 73, 145, 170, 171, 189, 193, 221, 227, 230, 231, 233, 235, 239, 240, 241, 244, 248, 261, 262, 268, 269, 271, 274, 277, 279, 282-284, 288, 299, 313, 320. V: 8
DIETRICH, van Freiberg. Duits scholasticus (c. 1250-c. 1310). II: 61, 67, 70, 71, 134, 147
DIGBY, KENELM. Engels schrijver (1630-1665). IV: 242
DIOGENES. Grieks wijsgeer (* 404 v. Chr.). I: 95
DIOKLES. Grieks wiskundige (II v. Chr.). I: 101
DIONYSIUS AREOPAGITA (ps) (c. 500). II: 77. III: 6, 9
DIOPHANTOS, van Alexandria. Grieks wiskundige (III 2). I: 60. III: 2
DIRCK REMBRANTSZ. Nederlands astronoom en wiskundige, bevriend met Descartes. IV: n. 78
DUHEM, PIERRE. Frans physicus en wetenschapshistoricus (1861-1917). II: 109, 113, 128, 129. III: 3, 34, 43, 45
DUNS SCOTUS, JOHANNES. Schots scholasticus (c. 1270-1308). II: 105, 108, 110, 135, 136
DÜRER, ALBRECHT. Duits kunstenaar en wiskundige (1471-1528). III: 27, 31

ECKHART. Duits mysticus (1260-1329) III: 9
EINSTEIN, ALBERT. Duits natuurkundige (*1879) III: 39
EKPHANTOS, van Syracuse. Grieks wijsgeer (begin V v. Chr.). I: 78
EMPEDOKLES, van Akragas. Grieks wijsgeer (c. 490-c. 435). I: 7, 8, 12, 44, 100, 101. II: 140. III: 74
EPIKOUROS, van Samos. Grieks wijs-

geer (341-270 v. Chr.). I: 13, 98. II 5, 6, 28, IV: 226, 230-232, 234, 324
ERASMUS, DESIDERIUS. Nederlands humanist (1466-1536). III: 3
EUCLIDES, van Alexandria. Grieks wiskundige (fl. c. 300 v. Chr.). I: 37, 58, 60, 61, 63, 64, 66, 67, 86, 112. II: 8, 17, 19, 68, 123. III: 2, 23. IV: 294
EUDOXOS, van Knidos. Grieks wiskundige en astronoom (c. 408-c. 355 v- Chr.). I: 42, 62, 66. II: 16, 143. IV: 22
EUGENIUS, van Palermo. Wiskundige en astronoom, vertaler van Arabische werken (midden XII). II: 18, 19

FABRICIUS, DAVID. Duits astronoom (1564-1617). IV: 47
AL-FÂRÂBÎ. Arabisch philosoof († 950). II: 19, 111
FARADAY, MICHAEL. Engels natuurkundige (1791-1867). IV: 71
AL-FARGHÂNÎ → ALFRAGANUS
FATIO DE DUILLIER, NICOLAS. Zwitsers astronoom (1664-1753). IV: 313
FERMAT, PIERRE DE. Frans wiskundige (c. 1608-1665). V: 3
FERNEL, JEAN. Frans medicus († 1558). III: 74
FERRIER, JEAN. Frans opticien (XVII 1). IV: 215
FICINO, MARSILIO. Italiaans humanist (1433-1499). III: 3, 28
FIRMICUS MATERNUS, JULIUS. Romeins astroloog († na 360). I: 111
FOSCARINI, PAOLO ANTONIO. Italiaans geestelijke (1580-1616). IV: 162
FRACASTORO, GIROLAMO. Italiaans geleerde (1483-1533). III: 60
FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI. Italiaans schilder (1439-1502). III: 28
FRANCISCUS, van Marchia. Italiaans scholasticus (XIII 1). II: 111, 134
FRANCISCUS, van Meyronnes. Frans scholasticus († 1325). II: 151
FRANCO, van Luik, Belgisch scholasticus (c. 1083). II: 9
FREDERIK II. Koning van Sicilie, Keizer van Duitsland (1194-1250). II: 18
FULBERT, van Chartres. Frans scholasticus (c. 960-1028). II: 10

GÂBIR IBN AFLAH. Spaans-Arabisch wiskundige en astronoom (eind XII). II: 144
GAETANO, van Thiene. Italiaans scholasticus (1387-1465). III: 16
GALENOS, van Pergamum. Grieks geneeskundige (129-179). II: 13, 16, 25, 67. III: 69
GALILEI, GALILEO. Italiaans natuurkundige en astronoom (1564-1642). II: 22, 59, 64, 113, 115, 130. III: 15, 16, 29, 31, 52, 55, 56. IV: 70, 77-136, 142, 147, 153-162, 165, 166, 168, 169, 172, 180, 182, 189, 194, 200, 203, 219, 221-230, 235, 237, 241, 263, 266, 270, 277, 295, 298, 308, 316. V: 7, 8
GASSEND, PIERRE. Frans philosoof (1592-1655). IV: 114, 131, 193, 221, 227, 231-241, 245, 248, 257, 283
AL-GAZZÂLÎ. Arabisch theoloog (1058- 1111). II: 19, 63
GELLIUS, AULUS. Romeins geleerde (c. 130-na 180). II: 10
GEMINOS, van Rhodos. Grieks wiskundige en astronoom (I). I: 86
GERARD, van Cremona. Italiaans vertaler van Arabische werken (1114- 1187). II: 18, 19, 144
GERBERT, van Aurillac (= Paus SYLVESTER II), Frans wiskundige en astronoom (c. 930-1003). II: 7, 9, 10, 89, 144
GHIBERTI, LORENZO. Italiaans beeldhouwer (1378-1455). III: 27

GILBERT, WILLIAM. Engels medicus en natuurkundige (1540-1603). II: 79. IV: 44, 45, 172-182, 185
GOETHE, JOHANN WOLFGANG von. Duits dichter en geleerde (1749-1832). I: 108. IV: 2
GODFRIED, van Fontaines. Frans scholasticus (na 1306). II: 110
GOORLE, DAVID van. Nederlands scheikundige (1591-1612). IV: 227
GRASSI, S.J., ORAZIO. Italiaans geleerde (1583-1658) IV: 228, 230
GREGORIUS, van Nazianze. Kerkelijk schrijver (c. 329-389/90). I: 116
GREGORIUS I, de Grote. Paus van 590-604. II: 32
GREGORIUS IX. Paus van 1229 tot 1241 II: 36
GRIMALDI, FRANCESCO MARIA. Italiaans natuurkundige (1618-1663). IV: 284
GROOT, HUGO DE. Nederlands staatsman en jurist (1583-1645). IV: 69
GROOT, JOHAN CORNETS DE. Burgemeester van Delft (1554-1640). IV: 69, 81
GROSSETESTE, ROBERT. Engels scholasticus, bisschop van Lincoln (1175-1253). II: 51, 59, 61, 66, 67, 69, 72, 75-77, 83, 105, 110. IV: 45
GUERICKE, OTTO von. Duits natuurkundige (1602-1686). IV: 278, 279, 281
GUNDISALVI, DOMINGO. Spaans philosoof en vertaler van Arabische werken (XII 1). II: 18

HAAK, THEODOOR. Duits geleerde, werkzaam in Engeland (1605-1690). IV: 193
HARUN AL RAŠÎD. Khalief van Bagdad van 786 tot 809. II: 15
HARVEY, WILLIAM. Engels medicus (1578-1657). IV: 193
HENDRIK van Langenstein (van Hainbuch, van Hessen). Duits scholasticus en astronoom (1325-1397). II: 148. III: 62
HERAKLEIDES, van Pontos. Grieks wijsgeer (c. 388-c. 315 v. Chr.). I: 40, 78. IV: 6, 17, 22
HERAKLEITOS, van Ephesos. Grieks wijsgeer (fl. c. 500 v. Chr.). I: 7, 44
HERAKLES, mythologische heros. I: 52. IV: 185
HERMAN de Carinthier = HERMANNUS DALMATA. Vertaler van Arabische werken (midden XII). II: 18, 20
HERMES TRISMEGISTOS. Legendaire auteur van alchemistische geschriften. I: 106. IV: 7
HEROON, van Alexandria. Grieks wisen werktuigkundige (waarsch. begin I v. Chr.). I: 93, 94, 100. II: 62, 63. III: 32
HEYTESBURY, WILLIAM van. Engels scholasticus (1380). II: 124
HIEROON, Koning van Syracuse (III v. Chr.) I: 95
HIERONYMUS S. Kerkvader (c. 340-420). II: 5
HIERONYMUS, van Ascoli → JERÔME
HIKETAS, van Syracuse. Grieks wijsgeer (c. 400 v. Chr.?). I: 78
HILARIUS, van Poitiers. Kerkelijk schrijver († 366). II: 5
HIPPARCHOS, van Nicaea. Grieks astronoom (II 2 v. Chr.). I: 68, 70, 75, 81, 82, 119. II: 16. IV: 8
HOENEN, P. Nederlands natuurphilosoof (* 1880). II: 126
HOBBES, THOMAS. Engels philosoof (1588-1679). IV: 240, 242, 257, 260
HOLKOT, THOMAS. Engels scholasticus († 1349). II: 100
HONORIUS III. Paus van 1216 tot 1227. II: 36
HOOKE, ROBERT. Engels natuurkundige (1635-1703). IV: 193, 279
HOOYKAAS, R. Nederlands chemicus en wetenschapshistoricus (* 1906). IV: 252, 253
HRABANUS MAURUS. Duits scholasticus (776-856). II: 4-6, 27

HUGO, van Santalla. Spaans vertaler van Arabische werken. II: 18
HUGO, van Siena. Italiaans medicus († 1439). III: 18
HUGO, van St. Victor. Frans scholasticus (1096-1141). II: 33
HUME, DAVID. Engels philosoof (1711-1776). II: 101
HUNAYN b. ISHÂQ = JOHANNITIUS. Nestoriaans medicus, vertaler van Griekse werken (c. 809-873). II: 15
HUSRAW ANÛŠIRWÂN → CHOSROËS
AL-HUWÂRIZMÎ. Arabisch wiskundige en astronoom († c. 850). II: 16, 17, 19, 144
HUYGENS, CHRISTIAAN. Nederlands wis- en natuurkundige (1629-1695). II: 59, 73. III: 45. IV: 70, 129, 136, 138-152, 155, 167, 170, 189, 193, 199, 202, 207, 211, 212, 244, 283-290, 303, 308, 312-314, 318, 328, 329. V: 4, 8

IAMBLICHOS, van Chalcis. Grieks wijsgeer (c. 325). I: 57
IBN BÂĞĞA → AVEMPACE
IBN GABIROL → AVICEBON
IBN AL-HAYTAM → ALHAZEN
IBN RUŠD → AVERROES
IBN SÎNÂ → AVICENNA
IBN TUFAYL → ABUBACER
INCEPTOR, VENERABILIS → OCKHAM
INGOLI, FRANCESCO. Italiaans rechtsgeleerde. IV: 114
ISIDORUS S,. van Sevilla. Spaans geleerde (c. 560-636). II: 2, 4-6

JACOB, van St. Martinus (van Napels). Italiaans scholasticus (XIV 2). III: 52
JACOPO de Forlì. Italiaans medicus († 1461). III: 18
JEANS, JAMES. Engels astronoom en natuurkundige (1877-1946). V: 9
JEREMIA. Profeet. I: 117
JERÔME van Ascoli. Generaal van de orde der Franciscanen in 1278. II: 61
JOHANNES XXI. Paus van 1276 tot 1277. II: 92
JOHANNES CANONICUS. Frans scholasticus. II: 64
JOHANNES DUNS SCOTUS → DUNS SCOTUS
JOHANNES HISPALENSIS, van Sevilla. Spaans-Joods vertaler van Arabische werken (midden XII). II: 18
JOHANNES, van Jandun. Frans scholasticus († 1328). II: 110
JOHANNES, van Mirecourt. (Monachus albus). Frans scholasticus (XIV). II: 103
JOHANNES, van Salisbury = JOHANNES SARESBERIENSIS. Engels scholasticus (1110/20-1180). II: 28, 31
JOHANNITIUS → HUNAYN IBN ISHÂQ
JORDANUS NEMORARIUS (= JORDANUS SAXO). Duits wis- en natuurkundige († 1237). III: 32-34, 41, 49, IV: 62, 91
JUNG, C.G. Zwitsers psycholoog (*1875). II: 90
JUNGIUS, JOACHIM. Duits geleerde (1587-1657). IV: 242
JUSTINIANUS. Oost-Romeins keizer van 527 tot 565 (483-565). II: 13

KALLIPPOS, van Kyzikos. Grieks astronoom (fl. c. 370 v. Chr.). I: 42. II: 143
KAMÂL AL-DÎN. Arabisch geleerde († 1320). II: 70
KANT, IMMANUEL. Duits wijsgeer (1724-1804). IV: 18
KAREL DE GROTE. Keizer (742-814). II: 3
KARNEADES van Kyrene. Grieks wijsgeer (c. 214-na 129 v. Chr.). I: 111, 122

KEPLER, JOHANNES. Duits astronoom (1571-1630). II: 59, 80, 130. III: 20, 23 n. 15, 16, IV: 1, 2, 15, 23, 25-59, 74, 90, 105, 111, 147, 153, 158, 168, 169, 172, 173, 182, 194, 310, 311. V: 8, 9

AL-KINDÎ. Arabisch geleerde († c.873). II: 16
KLEANTHES, van Assos. Grieks wijsgeer (c. 331-c. 232). I: 114
KLEOMEDES. Grieks astronoom (I v. Chr.). I: 80, 86, 100. II: 62
KOSMAS INDICOPLEUSTES. Patristisch geograaf (fl. c. 540). I: 119, 120
KOYRÉ, A. Frans wetenschapshistoricus (*1892). IV: 147, 183
KRISTELLER, PAUL OSCAR. Amerikaans philosoof (*1905). III: 15

LABERTHONNIERE, LUCIEN. Frans theoloog (1860-1932). IV: 220
LACTANTIUS. Kerkelijk schrijver (c. 250- c. 325). I: 119, 120, 123. II: 5, 6
LAPLACE, PIERRE-SIMON. Frans wiskundige en astronoom (1749-1827). IV: 329
LAVOISIER, ANTOINE LAURENT. Frans chemicus (1743-1794). IV: 247
LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM. Duits philosoof en wiskundige (1646-1716). III: 6, 48. IV: 195, 208, 313, 314, 318, 330. V: 3, 4
LEO I, de Grote. Paus van 440-461. II: 82
LEONARDO da Vinci. Italiaans kunstenaar (1452-1519). III: 27, 34, 36-46, 58. IV: 17, 60, 71, 88, 89, 125
LEOPOLD DE'MEDICI. Kardinaal. († 1675). IV: 193
LEUKIPPOS van Milete. Grieks wijsgeer (V v. Chr.). I: 8, 50
LIEBIG, JUSTUS VON. Duits chemicus (1803-1873). IV: 183
LINUS, FRANCISCUS. Engels theoloog (XVII 2). IV: 280
LOCKE, JOHN. Engels wijsgeer (1632-1704). IV: 227
LUCRETIUS CARUS, TITUS. Romeins dichter (c. 95-55 v. Chr.). I: 13, 98. II: 5, 6
LULLUS, RAYMUNDUS. Spaans scholasticus (c. 1232-1315). II: 91
MACH, ERNST. Duits natuurkundige en philosoof (1838-1916). II: 47. IV: 102
MACROBIUS. Romeins geleerde (c. 400) II: 10
MAGINI, GIOVANNI ANTONIO. Italiaans astronoom (1555-1617). IV: 156
MAIER, ANNELIESE. Duits geleerde. II: 109, 113, 119, 120, 129, 130. III: 52
MAIMONIDES, MOZES. Joods-Spaans wijsgeer (1135-1204). II: 142
AL-MA' MÛN. Khalief van Bagdad van 813 tot 833 (786-833). II: 15
MANILIUS, MARCUS. Romeins dichter en astroloog (I). I: 108, 111
AL MANSUR. Khalief van Bagdad van 754 tot 775. II: 15
MARSILIUS, van Inghen. Duits scholasticus († 1396). II: 94, 112, 136, 137
MÂŠALLÂH. Arabisch astroloog (†c.820) II: 16, 19
MATERNUS → FIRMICUS
MAUPERTUIS, PIERRE LOUIS MOREAU DE. Frans philosoof (1698-1759). V: 3
MAUROLYCO, FRANCESCO. Italiaans wiskundige (1494-1577). IV: 60
MELSEN, A.G.M. VAN. Nederlands philosoof (*1912). IV: 252, 254
MERSENNE, MARIN. Frans geleerde (1588-1648). IV: 131, 132, 193, 274, 277
MICHAEL SCOTUS. Schots scholasticus, vertaler van Arabische werken. (c. 1175-1235). II: 18, 145
MICHALSKY, CONSTANTIN. Pools geleerde (* 1879). II: 109
MOLIÈRE. Frans blijspeldichter (1622-1673). II: 87
MONACHUS ALBUS → JOHANNES, van Mirecourt
MONTMOR, HENRY LOUIS HABERT DE. Frans geleerde (XVII). IV: 193
MORE, LOUIS TRENCHARD. Amerikaans wetenschaps-historicus (1870-1944). IV: 183

MOZES. Joods volksleider. I: 117

NAPOLEON. Keizer van Frankrijk (1769-1821). IV: 329
NÂSIR AL-DIN AL-TÛSÎ. Perzisch-Arabisch wiskundige en astronoom (1201-1274). III: 64
NECHEPSO. Tezamen met Petosiris genoemd als auteur van een Grieks astrologisch werk (waarsch. uit II v. Chr.)- I: 111
NECTANEBO. Tovenaar. II: 89
NESTORIUS. Syrisch theoloog († na 450). II: 13
NEWTON, ISAAC. Engels wis- en natuurkundige (1642-1727). I: 2. II: 59, 108, 113. III: 39, 48. IV: 1, 46, 48, 75, 104, 109-111, 151, 215, 217, 255, 287, 291-330 V: 1, 2, 4, 6, 8, 9
NICOLAAS, van Autrecourt. Frans scholasticus (XIV 1). II: 101-104
NICOLAAS, van Cusa → CUSANUS
NICOLAAS, van Oresme → ORESME
NICOLETTI, PAOLO → PAULUS VENETUS
NIKOMACHOS, van Gerasa. Grieks wiskundige (fl. c. 100). II: 33
NIFO, AGOSTINO. Italiaans scholasticus (1473-1546). III: 17, 18, 67
NOËL, ETIENNE. Frans theoloog (XVII 1). IV: 262, 267-269, 271, 272, 276
NORMAN, ROBERT. Engels zeevaarder en instrumentmaker (XVI 2). IV: 174, 175
NOVARA, DOMENICO MARIA DA. Italiaans astronoom (1454-1504). IV: 17, 176

OCKHAM, WILLEM van. Engels scholasticus (c. 1300-1349/50). II: 94, 96, 97, 107, 108, 110, 111, 118, 136. IV: 242, 312
ORESME, NICOLAAS van. Frans scholasticus († 1382). II: 94, 105, 108, 110, 116, 117, 119, 125-131, 136, 149, 150, 151. III: 13, 18, 31, 48, 52, 77, IV: 5, 17, 21, 73, 80, 88, 94, 176. V: 7
ORIGENES. Kerkelijk schrijver († 254). I: 117, 119, 123
OSIANDER, ANDREAS. Duits theoloog (1498-1552). IV: 14-16, 35, 41, 157, 162

PACIOLI, LUCA. Italiaans wiskundige (c. 1445-1514). III: 28, 31, 38
PANAITIOS, van Rhodos. Grieks wijsgeer (c. 180-c. 110 v. Chr.). I: 50, 111
PAPIN, DENIS. Frans natuurkundige (1647-1712). IV: 244
PAPPOS, van Alexandria. Grieks wiskundige (III 2). I: 60. III: 2
PARACELSUS. Zwitsers medicus (1493-1541). III: 31, 69-72, 77. IV: 245, 246, 256
PARMENIDES, van Elea. Grieks wijsgeer (* c. 515 v. Chr.). I: 6, 8, 10, 20, 92. III: 20
PASCAL, BLAISE. Frans wis- en natuurkundige (1623-1662). III: 12. IV: 159, 167, 174, 220, 240, 261-278, 292
PASCAL, ETIENNE. Vader van Blaise Pascal († 1651). IV: 193, 261
PATRIZZI, FRANCESCO. Italiaans philosoof (1529-1597). III: 14. IV: 173
PAULUS, Apostel der Heidenen († 62). I: 117. II: 16, 28, 124
PAULUS III. Paus van 1534 tot 1549. IV: 16
PAULUS VENETUS (= NICOLETTI, PAOLO). Italiaans scholasticus († 1429). III: 18
PECKHAM, JOHN. Engels scholasticus (c. 1240-1292). II: 61, 67
PERIER, FLORIN. Zwager van Blaise Pascal. IV: 275, 277
PEPIJN DE KORTE. Koning der Franken († 768). II: 3
PETIT, PIERRE. Frans geleerde (1598-1677). IV: 261

PETOSIRIS. Tezamen met Nechepso genoemd als auteur van een Grieks astrologisch werk (waarsch. uit II v. Chr.). I: 111
PETRUS, van Alvernia. Frans scholasticus († 1304). II: 110
PETRUS AUREOLI. Frans scholasticus († 1322). II: 134
PETRUS LOMBARDUS. Italiaans scholasticus († 1160). II: 101, 117, 119
PETRUS OLIVI. Frans scholasticus (1248/9-1298). II: 110, 111
PETRUS PEREGRINUS, van Maricourt. Frans geleerde (midden XIII). II: 58, 79, 80. III: 3, 62, 64. IV: 174
PEURBACH (PURBACH) GEORG. Oostenrijks astronoom (1423-1461). III: 3, 62, 64. IV: 174
PHILOLAOS. Grieks wijsgeer (fl. midden V v. Chr.). I: 40, 78
PHILOON, van Byzantium. Grieks mechanicus (III v. Chr.). I: 100. II: 62, 63
PHILOPONOS, JOHANNES, van Alexandria. Grieks wijsgeer, commentator van Aristoteles. I: 46, 85, 99. II: 111. III: 55
PICO DELLA MIRANDOLA, GIOVANNI. Italiaans philosoof (1463-1494). III: 21
PIERO DE'FRANCESCHI. Italiaans kunstenaar (c. 1420-1492). III: 28
PIETRO D'ABANO. Italiaans medicus en philosoof (1257-1315). III: 18
PLANCK, MAX. Duits natuurkundige (* 1858). I: 2
PLATO. Grieks wijsgeer (429-348 v. Chr.). passim
PLATO, van Tivoli = PLATO TIBURTINUS. Italiaans vertaler van Arabische werken (XII 1). II: 18
PLINIUS SECUNDUS, CAJUS. Romeins geleerde (23-79). II: 2
PLOTINOS, van Lykopolis. Grieks wijsgeer (204-269). I: 54-57, 113, 116, 117. II: 77, 103
PLUTARCHUS, van Chaeronea. Grieks wijsgeer en historicus (c. 50-120). I: 95, 97, 119. IV: 155
POMPONAZZI, PIETRO. Italiaans scholasticus (1462-1525). III: 22
PORPHYRIOS, van Batanea. Grieks wijsgeer (233-304). I: 56. II: 1, 12, 13
POSEIDONIOS, van Apamea. Grieks wijsgeer (128-44 v. Chr.) I: 50, 80, 95, 100, 111. II: 62, 70
PROKLOS, van Lycie. Grieks wijsgeer (410-485). I: 46, 58, 84, 85. II: 19, 77
PTOLEMAIOS, van Alexandria (II). Grieks astronoom. I: 67, 68, 70, 75, 77-79, 81-84, 101, 112, 119. II: 16, 19, 20, 59, 68, 69, 82, 105, 141, 143-145, 147-149. III: 2, 13, 60-62. IV: 2, 4-6, 8-11, 13, 19-22, 25, 32, 34, 35, 155, 157, 176, 270
PYTHAGORAS, van Samos. Grieks wijsgeer (fl. c. 530 v. Chr. † 497/6 v. Chr.). I: 4, 5, 218. II: 8

RADOLF (RUDOLF), van Luik, Schoolleider (XII). II: 8
RAGIMBOLD (REGIMBALD), van Keulen. Schoolleider (XII). II: 8
RAMUS, PETRUS. Frans philosoof en wiskundige (1515-1572). III: 23
RANDALL Jr. J.H. Amerikaans philosoof (*1899). III: 15
RAUCHFUSS, CONRAD (= DASYPODIUS). Duits wiskundige (1529-1600). IV: 259 n. 116
RAYMOND I. Aartsbisschop van Toledo van 1126 tot 1151. II: 18
REGIOMONTANUS (= MÜLLER, JOHANNES). Duits astronoom (1436-1476). III: 3, 62, 64, 65. IV: 6, 17
REINHOLD, ERASMUS. Duits astronoom (1511-1553). IV: 19
RICCIOLI, S.J., GIOVANNI BATTISTA. Italiaans astronoom (1598-1671). IV: 131
RICHARD, van Middletown. Engels scholasticus (XIII 2). II: 110

ROBERT, van Chester (ROBERT, de Rétines). Engels vertaler van Arabische werken (fl. c. 1150). II: 18
ROBERVAL, GILLES PERSONNE DE. Frans wiskundige (1602-1675). IV: 261, 263, 270, 274
RODOLPH, van Brugge. Vlaams vertaler van Arabische werken en astronoom (fl. c. 1150). II: 18
ROMER, OLE. Deens astronoom (1644- 1701). IV: 284
RUDOLF II. Keizer van Duitsland van 1576 tot 1612 (1552-1612). IV: 25
ROTHMANN, CHRISTOPH. Duits astronoom (XVI 2). IV: 21
RUZZANTE (ps van A. BEOLCO). Paduaans comediedichter (1502-1542) III: 29
RYFF, WALTER HERMANN, Zwitsers geleerde (XVI 1). III: 58

SALOMO. Koning van Israël (1082-975 v. Chr.). IV: 191
SAVASORDA = ABRAHAM BAR HIYYA. Joods-Spaans wiskundige en vertaler van Arabische werken († c. 1136). II: 18
SCALIGER, JULIUS CAESAR. Italiaans geleerde (1484-1558). III: 51, 56, 73. IV: 38
SCHEINER, S.J., CHRISTOPH. Duits astronoom (1575-1650). IV: 45
SCHOTT, S.J., CASPAR. Duits natuurkundige (1608-1666). IV: 279
SÊBÔHT, SEVERUS. Syrisch geleerde (midden VII). II: 13
SENECA, LUCIUS ANNAEUS. Romeins wijsgeer (c. 4-65). I: 95. II: 2, 10, 53 n. 24, 70
SENNERT, DAVID. Duits medicus en chemicus (1572-1637). III: 74. IV: 249, 254
SERGIOS, van Resaina. Syrisch geleerde († 536). II: 13
SFORZA, LODOVICO. IL MORO. Hertog van Milaan (1451-1508). III: 40
SIGER, van Brabant. Nederlands scholasticus (c. 1235-c. 1281). II: 42, 85, 93, 110, 137
SIMMEL, GEORG. Duits socioloog (1858-1918). III: 26
SIMPLIKIOS. Grieks wijsgeer, commentator van Aristoteles (VI 1). I: 81, 85. II: 13
SNELLIUS, WILLEBRORD. Nederlands wis- en natuurkundige (1591-1626). IV: 170
SOCRATES, van Athene. Grieks wijsgeer (c. 470-399 v. Chr.). I: 21
SOLOON, van Athene. Grieks staatsman († c. 558 v. Chr.). I: 92
SOPHOKLES. Grieks treurspeldichter (c. 494-c. 406). IV: 7
SOPHRONISKOS. Vader van Socrates. I: 21
SOSIGENES, van Alexandria. Grieks astronoom (I v. Chr.). I: 42, 81
SOTO, DOMINICUS. Spaans scholasticus (1494-1560). II: 130
SPERONI, SPERONE. Italiaans letterkundige (XVI). III: 29
STEVIN, SIMON. Nederlands wis- en natuurkundige (1548-1620). I: 80. III: 27, 31-33, 65. IV: 12, 60-70, 73, 81, 141, 165, 167, 172, 173, 176, 277, 282
SUAREZ, FRANCISCO. Spaans scholasticus (1548-1617). III: 51
SUISSET = RICHARD SWINESHEAD. Engels scholasticus (XVI 1). II: 124. III: 15
SYRIANOS, van Alexandria. Grieks wijsgeer (c. 380-c. 450). I: 57
SYLVESTER II → GERBERT

TÂBIT IBN QURRA. Arabisch wiskundige en vertaler (826/7-901). II: 16
TARTAGLIA, NICOLO. Italiaans wiskundige (c. 1505-1557). III: 31, 58
TELESIO, BERNARDINO. Italiaans natuurphilosoof (1508-1588). III: 14, 20
TEMPIER, ETIENNE. Bisschop van Parijs (XIII 2). II: 92, 93, 106-108

TENNEUR, LE. Vriend van Mersenne. IV: 274
TERTULLIANUS. Kerkelijk schrijver (c. 60-na 120). I: 115, 124.
THALES, van Milete. Grieks wijsgeer (c. 600 v. Chr.). I: 2, 3, 98. II: 81. IV: 179
THEMISTIOS, van Paphlagonia. Grieks wijsgeer en commentator van Aristoteles (fl. c. 400). I: 46. II: 63, 105
THEODORUS, van Tarsus. Aartsbisschop van Canterbury (602-690). II: 3
THEODOSIOS, van Tripolis. Grieks wiskundige en astronoom (c. 100 v. Chr.). III: 63
THEOPHILOS S. Bisschop van Antiochia († na 181). I: 119
THIERRY, van Chartres. Frans scholasticus († c. 1150). II: 10-12, 20
THOMAS S., van Aquino. Italiaans scholasticus (1227-1274). I: 58. II: 38-40, 42-48, 53, 57, 63, 70, 72, 74, 77, 83, 89, 92-95, 100, 101, 103, 105, 106, 110, 111, 133, 136, 137, 146, 148. III: 14. IV: 160, 231
THOMAS, van Cantimpré. Frans scholasticus (XIII 1). II: 47
TORRICELLI, EVANGELISTA. Italiaans wis- en natuurkundige (1608-1647). II: 22. IV: 124, 126-133, 141, 142, 145, 167, 232, 261, 265, 272-274, 277, 278, 280. V: 8
TOWNLEY, RICHARD. Correspondent van Boyle. IV: 280
TRISMEGISTOS → HERMES.
TYCHO → BRAHE
TYRTAIOS, van Athene. Grieks dichter (VII v. Chr.). IV: 192

URBANUS IV. Paus van 1261 tot 1264. II: 36
URBANUS VIII. Paus van 1623 tot 1644 (1568-1644). IV: 160

VALERIUS MAXIMUS. Romeins schrijver (I 1). II: 10
VERNE, JULES. Frans romanschrijver (1828-1905). II: 51
VETTIUS VALENS. Romeins astroloog (II). I: 111
VIETA (= VIÈTE, FRANÇOIS.) Frans wiskundige (1540-1603). IV: 196
VINCENT, van Beauvais. Frans scholasticus (1190-1264). II: 77, 91
VITALIANUS. Paus van 657 tot 672. II: 3
VIVES, LODOVICO. Spaans philosoof (1492-1540). III: 24, 25
VIVIANI, VINCENZIO. Italiaans wis- en natuurkundige (1622-1703). IV: 261

WALLIS, JOHN. Engels wiskundige (1616-1703). IV: 193
WALTHER, BERNHARD. Neurenbergs patricier (1430-1504). III: 62
WILLEM, van Auvergne. Frans scholasticus, bisschop van Parijs. II: 58, 77, 80, 88, 89, 145
WILLEM, van Conches. Frans scholasticus (1080-1145). II: 20, 25-31, 33
WILLEM, van Heytesbury → HEYTESBURY
WILLEM, van Ockham → OCKHAM
WILLEM, van St. Thierry. Belgisch scholasticus (c. 1085-1147). II: 27, 28, 30
WITELO. Silezisch scholasticus (* c. 1220). II: 61, 67, 70. IV: 168

XENARCHOS. Grieks astronoom (I v. Chr.). I: 81
ZABARELLA. Italiaans philosoof (1532-1589). III: 16-18, 67
ZENOON, van Elea. Grieks wijsgeer (fl. c. 460 v. Chr.). II: 108, 114, 147
ZENOON, van Kition. Gricks wijsgeer (c. 336-c. 263 v. Chr.). I: 50
ZENOON. Oost-Romeins keizer van 474 tot 491. II: 13
ZILSEL, EDGAR. Duits socioloog (1891-1944). III: 26
ZIMARA, MARC-ANTONIO. Italiaans philosoof († 1552). III: 18, 67

Van denzelfden schrijver verschenen vroeger:

Val en Worp. Een bijdrage tot de Geschiedenis der Mechanica van Aristoteles tot Newton. Groningen 1924.

De Elementen van Euclides. 2 dln. Groningen 1929-30.

Archimedes. Deel I. Groningen 1938. Deel II in Euclides XV-XVII, XX. Groningen 1938-44.

Vreemde woorden in de wiskunde. Groningen 1939. ^{2}1948 (met Dr W. van der Wielen).

Simon Stevin. 's-Gravenhage 1943.